

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

EXPLORATION DE DONNÉES SPATIALES POUR L'ANALYSE
DES VICTIMES ROUTIÈRES ET DU PARTAGE DE LA RUE

TRISTAN MARTIN

DÉPARTEMENT DES GÉNIES CIVIL, GÉOLOGIQUE ET DES MINES
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES
(GÉNIE CIVIL)

AVRIL 2016

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

EXPLORATION DE DONNÉES SPATIALES POUR L'ANALYSE
DES VICTIMES ROUTIÈRES ET DU PARTAGE DE LA RUE

présenté par : MARTIN Tristan

en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

M. SAUNIER Nicolas, Ph. D., président

Mme MORENCY Catherine, Ph. D., membre et directrice de recherche

Mme BADEAU Nancy, M.Sc.A. membre

REMERCIEMENTS

Je remercie chaleureusement Catherine MORENCY pour avoir supervisée ma maîtrise ainsi que Patrick MORENCY qui a investi beaucoup de temps dans cette étude. Son aide fut précieuse pour l'élaboration des objectifs, pour le développement de la méthode et des indicateurs de partage de la rue ainsi que pour les analyses des victimes de la route et leur interprétation.

Je remercie également tous mes collègues de bureau qui m'ont aidé au cours de ma recherche, en particulier Jean-Simon BOURDEAU qui m'a guidé lors la collecte des données nécessaires à l'étude.

RÉSUMÉ

Les collisions routières représentent un enjeu majeur de santé publique. La conception du réseau routier a une influence importante sur le risque d'accident, à savoir sa probabilité et sa gravité, lors d'un déplacement. D'autres facteurs de risque sont connus depuis longtemps, comme les débits de voitures. Mais la collecte de ces données est difficile à l'échelle d'un réseau entier. L'objectif est de développer une méthode d'analyse des victimes routières pour l'île de Montréal à l'échelle de tous les carrefours et de tous les liens routiers. Plusieurs sources de données sont utilisées : le système de cartographie OpenStreetMap pour la géographie du réseau, les rapports policiers pour les collisions routières et l'enquête Origine-Destination pour les estimations des débits des usagers (automobiles, piétons, cyclistes). Les largeurs des chaussées et des trottoirs ont été mesurées à l'aide d'un fichier géomatique pour l'ensemble de l'île de Montréal et validées par des mesures physiques (échantillon de points). Des régressions multiples (modèle binomial négatif) ont permis d'identifier les facteurs associés aux nombres de blessés piétons, cyclistes et occupants d'automobiles. Les mesures de largeurs ont mené à l'évaluation d'un indicateur de partage de la rue sur l'ensemble du réseau (rapport entre la largeur dédiée aux piétons sur la largeur totale de la rue). Les variations spatiales et historiques de cet indicateur ont été explorées et ce dernier a été associé aux débits de véhicules et de piétons. L'analyse des collisions et du partage de la rue a ainsi été effectuée sur plus de 16 000 carrefours et près de 25 000 liens sur l'île de Montréal. Au niveau des liens routiers, la largeur de la chaussée et les débits d'usagers sont associés significativement avec le nombre de blessures des occupants de véhicules motorisés, des cyclistes et des piétons. Au niveau des carrefours, les débits d'usagers, le nombre de branches, la largeur maximale de traversée et la présence d'une artère sont associés significativement au nombre de victimes. L'indicateur du partage de la rue est corrélé à l'année de construction moyenne des bâtiments du lien routier, avec plus d'attribution d'espace pour la voiture au cours du temps. De plus, les débits quotidiens des piétons sont plus élevés sur les rues dont la chaussée et le trottoir sont plus larges ainsi que sur les rues où le partage de l'espace leur est favorable.

ABSTRACT

Road crashes are a major public health issue. Road design has a significant influence on the risk (probability and severity) of road injuries. Other risk factors have long been known, such as traffic volume but collecting such data at the scale of an entire network is a difficult task. The objective of this research is to develop a method for analysing road injuries across all intersections and road segments on the island of Montreal. Several data sources are used: the OpenStreetMap mapping system for the geography of the network, police reports for traffic collisions and the Origin-Destination household survey for traffic flows (cars, pedestrian and cyclists). Road widths are measured using a GIS file for the entire island of Montreal and validated by comparing with physical measurements carried out in the field (for a subset of intersections). Multivariate regression models are used to identify the factors associated with the number of injuries for pedestrians, cyclists and car occupants. The measures of street width have led to the development of a road sharing indicator for the entire network (the ratio of the width dedicated to pedestrians to the total width of the street). The spatial and historical changes of this indicator were explored and this indicator was found to be associated with both vehicle and pedestrian flows. The collision analysis was performed on more than 16 000 intersections and nearly 25 000 segments on the island of Montreal. Road width and road user flows were found to be significantly associated with the number of motor-vehicle occupant, cyclist and pedestrian injuries. For intersections, user flows, the number of approaches and the maximum width are all significantly associated with the number of injuries. The road sharing indicator is correlated with the average year of construction of buildings on the road segments with more space allocated to the car over time. In addition, the daily volumes of pedestrians are higher on streets whose pavement and sidewalk are wider and on streets where the sharing of space promotes pedestrians.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	III
RÉSUMÉ.....	IV
ABSTRACT	V
TABLE DES MATIÈRES	VI
LISTE DES TABLEAUX.....	XI
LISTE DES FIGURES.....	XIII
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	XVI
CHAPITRE 1 INTRODUCTION	1
1.1 Contexte	1
1.2 Objectifs de la recherche	3
1.3 Structure du mémoire	3
1.4 Méthodologie générale.....	4
CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE.....	6
2.1 Collisions routières.....	6
2.2 Modèles de régression.....	7
2.3 Partage de la rue	9
CHAPITRE 3 SOURCES DE DONNÉES	12
3.1 Territoire de l'étude.....	12
3.2 Réseau routier.....	13
3.3 Base de données des victimes	16
3.4 Enquête Origine-Destination 2008.....	18
3.5 Couche de base de l'île de Montréal	19
3.6 Rôle foncier	20

3.7	STM (GTFS)	20
3.7.1	Voies réservées de bus	20
3.7.2	GTFS	20
3.8	Voies cyclables.....	21
3.9	Réseau artériel métropolitain.....	21
CHAPITRE 4 TRAITEMENT ET ATTRIBUTS DU RÉSEAU ROUTIER		23
4.1	Réseaux de liens et de carrefours	23
4.1.1	Classification des segments routiers.....	23
4.2	Définition et traitement des carrefours	25
4.2.1	Présentation du problème	26
4.2.2	Définition d'un carrefour.....	27
4.2.3	Carrefours complexes.....	27
4.2.4	Projection des carrefours	28
4.3	Traitement des liens routiers	29
4.3.1	Découpage des liens	30
4.3.2	Fusion des liens	30
4.3.3	Gestion des terre-pleins centraux	31
4.4	Largeur des rues et des trottoirs	32
4.4.1	Données sources	32
4.4.2	Description des données	33
4.4.3	Validation avec fichier largeur de chaussée	37
4.5	Débits des piétons, cyclistes et automobilistes sur le réseau.....	42
4.5.1	Méthode.....	42
4.5.2	Description des données	43

4.5.2.1	Carrefours.....	43
4.5.2.2	Liens routiers.....	44
4.6	Résumés des opérations des réseaux liens et carrefours	46
4.7	Attribution des victimes sur les réseaux.....	47
4.7.1	Autoroutes et localisation.....	47
4.7.2	Date	48
4.7.3	Année.....	48
4.7.4	Catégorie de la victime et véhicule de la victime.....	48
4.7.5	Carrefour	49
4.7.6	État de la victime.....	50
CHAPITRE 5 ANALYSES DES VICTIMES		51
5.1	Variables.....	51
5.1.1	Nombre de victimes.....	51
5.1.2	Description pour les carrefours	51
5.1.3	Description pour les liens routiers.....	53
5.1.4	Variables de risque routier	55
5.2	Variables explicatives.....	58
5.2.1	Variables explicatives pour les carrefours.....	58
5.2.1.1	Flux quotidiens de voitures, vélos et piétons	58
5.2.1.2	Nombre de branches du carrefour	58
5.2.1.3	Longueur maximale des approches du carrefour	58
5.2.1.4	Présence d'une artère.....	59
5.2.1.5	Largeur maximale de chaussée.....	59
5.2.1.6	Analyse des corrélations.....	59

5.2.2	Variables explicatives pour les liens	62
5.2.2.1	Flux quotidiens de voitures, vélos et piétons	62
5.2.2.2	Longueur du lien	62
5.2.2.3	Largeur de la chaussée	62
5.2.3	Analyse des corrélations.....	63
5.2.3.1	Corrélations pour les variables des liens	63
5.3	Modèles	64
5.3.1	Régression binomiale négative du nombre de blessés	65
5.3.1.1	Modèles pour les carrefours	65
5.3.1.2	Analyse des résidus	67
5.3.1.3	Modèles pour les liens.....	69
5.3.1.4	Analyse des résidus	71
5.3.2	Modèles exponentiels de risques.....	73
5.3.2.1	Définition	73
5.3.2.2	Carrefours.....	73
5.3.2.3	Analyse des résidus	74
5.3.3	Discussion des modèles.....	76
CHAPITRE 6	PARTAGE DE LA RUE	77
6.1	Partage de la rue	77
6.1.1	Exemple de la rue Villeneuve	77
6.2	Indicateur de partage de la route	79
6.2.1	Définition	79
6.2.2	Variations spatiales.....	81
6.2.3	Évolution historique	82

6.2.3.1	Évolution historique de la largeur de chaussées.....	83
6.2.3.2	Évolution historique de la largeur des trottoirs	84
6.2.3.3	Évolution historique de l'indicateur de partage de la route.....	86
6.2.4	Amélioration.....	88
6.3	Partage de la route et flux de piétons, de véhicules.....	89
6.3.1	Largeur des trottoirs	89
6.3.2	Largeur des chaussées	90
6.3.3	Indicateur du partage de la rue	91
6.3.4	Corrélations	92
CHAPITRE 7	CONCLUSION ET RECOMMANDATION.....	94
7.1	Principaux résultats	94
7.2	Limites.....	94
7.3	Perspectives de recherche.....	96
7.4	Recommandation.....	97
BIBLIOGRAPHIE	98

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3-1 Classification des liens routiers OSM.....	14
Tableau 3-2 Base de donnée des victimes.....	16
Tableau 3-3 Base de données des victimes (suite).....	17
Tableau 4-1 Catégorisation simplifiée pour les fins de l'étude.....	24
Tableau 4-2 Statistique de la largeur des chaussées.....	34
Tableau 4-3 Statistiques de la largeur des trottoirs	36
Tableau 4-4 Description des débits quotidiens de véhicules ou d'usagers pour les carrefours de Montréal	43
Tableau 4-5 Nombre de carrefours présentant des débits nuls.....	44
Tableau 4-6 Description des débits quotidiens de véhicules ou d'usagers pour les tronçons de rue	45
Tableau 4-7 Nombre de liens avec un flux nul	46
Tableau 4-8 Victimes selon le mode de transport	49
Tableau 4-9 Répartition du nombre de victimes entre les carrefours et les liens.....	49
Tableau 5-1 Descriptions des variables dépendantes liées aux blessés pour les carrefours.....	52
Tableau 5-2 Tableau descriptif des nombres et taux de victimes pour les liens routiers	54
Tableau 5-3 Description des variables de risque pour les carrefours.....	56
Tableau 5-4 description de variables de risque pour les liens routiers.....	57
Tableau 5-5 Statistiques de la longueur maximale.....	59
Tableau 5-6 Statistiques de la largeur de chaussée maximale.....	59
Tableau 5-7 Nom des variables pour les carrefours	60
Tableau 5-8 Matrice de corrélation des variables explicatives pour les carrefours	60
Tableau 5-9 Valeurs VIF des variables carrefours.....	61

Tableau 5-10 Statistiques de la longueur des liens.....	62
Tableau 5-11 Statistiques de la largeur des chaussées	62
Tableau 5-12 Noms des variables utilisées dans les modèles de régression	63
Tableau 5-13 Matrice de corrélation des variables des liens.....	63
Tableau 5-14 Valeurs VIF pour les variables des liens	64
Tableau 5-15 Résumé des coefficients des modèles binomiaux négatifs pour le nombre de blessés aux carrefours (12 508 carrefours sur l'île de Montréal)	66
Tableau 5-16 Résumé des coefficients des modèles binomiaux négatifs pour le nombre de blessés majeurs aux carrefours (12 508 carrefours sur l'île de Montréal).....	66
Tableau 5-17 Résultats des modèles du nombre de blessés total	70
Tableau 5-18 Résultats des modèles du nombre de blessés majeurs	70
Tableau 5-19 Résumé des coefficients des modèles exponentiels pour le risque de blessures aux carrefours.....	73
Tableau 5-20 Résumé des coefficients des modèles exponentiels pour le risque de blessures majeures aux carrefours.....	74
Tableau 6-1 Largeurs des voies de la rue Villeneuve (H2T 2R5).....	78
Tableau 6-2 Surface occupée par chaque mode de transport sur la rue Villeneuve (H2T 2R5)	79
Tableau 6-3 Largeur moyenne des chaussées au cours du temps	84
Tableau 6-4 Largeur moyenne des trottoirs au cours du temps	84
Tableau 6-5 Indicateur de partage de la rue au cours du temps	86
Tableau 6-6 Moyenne des flux piétons et voitures quotidiens par classe de largeur des trottoirs .	90
Tableau 6-7 Moyenne des flux voitures et piétons en fonction de la largeur des chaussées	91
Tableau 6-8 Moyenne des flux de piétons et de voitures en fonction de l'indicateur de partage de la rue	92
Tableau 6-9 Matrice des coefficients de corrélation de Pearson.....	93

LISTE DES FIGURES

Figure 1-1 Schéma méthodologique.....	5
Figure 3-1 Délimitation de la communauté Métropolitaine de Montréal	12
Figure 3-2 Réseau OSM brut avec nom des rues	15
Figure 3-3 Réseaux de liens et de carrefours finaux.	15
Figure 3-4 Exemple de fichier géomatique	19
Figure 3-5 Carte du réseau artériel métropolitain de la CMM	22
Figure 4-1 Exemple de catégories de voies, Montréal sur le plateau Mont-Royal	25
Figure 4-2 Croisement Viau/Sherbrooke Est réseau OSM et vue satellite.	26
Figure 4-3 Exemple d'un carrefour complexe : Viau/Sherbrooke Est	28
Figure 4-4 Carrefours avec autoroutes	29
Figure 4-5 Exemple d'un carrefour après traitement des liens	30
Figure 4-6 Tronçon de la rue Garnier découpé en plusieurs liens en raison de croisement avec des ruelles (en vert).....	31
Figure 4-7 Croisement Christophe-Colomb/Saint-Joseph	33
Figure 4-8 Histogramme de la largeur des chaussées	34
Figure 4-9 Carte des largeurs de chaussées sur l'île de Montréal.....	35
Figure 4-10 Carte de la largeur des trottoirs sur l'île de Montréal	36
Figure 4-11 Distribution fréquentielle de la largeur des trottoirs.....	37
Figure 4-12 Carte des carrefours de l'étude de Morency et al. (2015)	38
Figure 4-13 Vecteurs du centre du carrefour au début des liens au croisement entre la rue Chambord et la rue Saint-Zotique	39
Figure 4-14 Histogramme de la différence.....	40

Figure 4-15 Fichier couche de base de l'avenue St-Joseph entre la rue Saint-André et la rue de Mentana. La présence d'une ligne de délimitation de chaussée au centre conduit à une largeur de chaussée mal estimée	41
Figure 4-16 Résumé des opérations sur les liens	46
Figure 4-17 Résumé des opérations pour les carrefours	47
Figure 4-18 Pourcentage des blessés graves dans l'ensemble des victimes.....	50
Figure 5-1 Histogramme de cvodgl entre 1 et 50.....	53
Figure 5-2 Histogramme des valeurs de cvodgl pour les liens.....	55
Figure 5-3 Distribution fréquentielle de log(rcvodgl) pour les carrefours. Les valeurs nulles ne sont pas prises en compte	57
Figure 5-4 diagramme des résidus par le modèle cvodgl pour les carrefours en fonction du flux voitures.....	68
Figure 5-5 Diagramme Quantile-Quantile des résidus pour le modèle cvodgl pour les victimes..	69
Figure 5-6 Graphique des résidus et des valeurs prédites par le modèle	71
Figure 5-7 Diagramme Quantile-Quantile des résidus.....	72
Figure 5-8 Graphique des résidus en fonction des valeurs prédites	75
Figure 5-9 Diagramme Quantile-Quantile des résidus du modèle exponentiel en fonction des quantiles de la loi normale.....	75
Figure 6-1 : Largeur des voies de la rue Villeneuve (H2T 2R5).....	78
Figure 6-2 Indicateur de partage de la rue.....	81
Figure 6-3 Indicateur partage de la route Montréal.....	82
Figure 6-4 Carte de l'année moyenne de construction	83
Figure 6-5 Évolution historique de la distribution de la largeur des trottoirs	85
Figure 6-6 Évolution historique de la distribution de l'indicateur de partage de la rue	87
Figure 6-7 Catégories de largeur de trottoir (histogramme tronqué à 4m)	89

Figure 6-8 Catégories des liens en fonction de la largeur des chaussées	90
Figure 6-9 Catégories de l'indicateur de partage de la rue (histogramme tronqué à 60%)	91

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

CMM	Communauté métropolitaine de Montréal
OSM	OpenStreetMap
GTFS	General Transit Feed Specification
RAM	Réseau Artériel Métropolitain
STM	Société de Transport de Montréal
AMT	Agence Métropolitaine de Transport

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

1.1 Contexte

Les accidents de la route ont un impact majeur sur la société et ont un énorme coût économique et social. En 2014, la route a fait 336 morts et 35815 blessés, dont 1573 graves au Québec (*Bilan routier 2014*, 2014). Ce chiffre est cependant en baisse depuis plus de 30 ans malgré l'augmentation continue du nombre de véhicules en circulation et des titulaires du permis. Le risque (probabilité d'avoir un accident lors d'un déplacement) lié à l'utilisation du réseau routier n'est pas uniforme. De nombreuses études cherchent à déterminer et modéliser le risque routier, souvent à une échelle agrégée (A. Hakkert, Livneh, & Mahalel, 1976; A. S. Hakkert, Braimaister, & Van Schagen, 2002). Différents types de facteurs ont été identifiés comme influençant le nombre de victimes : environnementaux, débits des véhicules et débits des usagers (Ewing & Dumbaugh, 2009). Cependant, la collecte de données s'avère parfois difficile. Si les victimes sont en général bien documentées, les variables d'expositions et environnementales sont plus difficiles à obtenir.

En effet, l'environnement joue un rôle déterminant dans le risque de blessures lors d'un trajet sur le réseau routier. Plusieurs recherches s'intéressent aux facteurs qui augmentent ou diminuent le risque d'accident. Certains sont connus, comme la circulation automobile qui augmente le nombre de collision avec un piéton (Lyon & Persaud, 2002). Mais les études de sites se concentrent en général sur quelques carrefours ou routes à risque (Hauer, 1996). Des études sur l'ensemble d'une ville sont courantes à l'échelle agrégée. Ewing and Dumbaugh (2009) ont fait une revue des études agrégées effectuées aux États-Unis. À notre connaissance, peu d'études désagrégées ont pris en compte tout le réseau d'une ville faute de données suffisantes. Des comptages peuvent être effectués, à l'aide d'outils technologiques ou de comptages sur place, mais nécessitent des facteurs d'expansion à une journée, un mois ou bien une année. Ceux-ci sont localisés dans le temps et dans l'espace, la circulation variant selon les saisons ou encore le jour de la semaine.

À Montréal, le nombre de blessés sur un nombre limité de carrefours a été analysé ((P. Morency, Archambault, Cloutier, Tremblay, & Plante, 2015). La collecte de données s'est faite grâce à des

équipes qui ont effectué des relevés pour un échantillon de carrefours. Les débits (flux de véhicules et de piétons) ont été déterminés à l'aide des comptages de la ville de Montréal disponibles sur le portail internet des données ouvertes¹. La régression multivariée a montré que certains aménagements augmentent les risques de blessures, comme la présence d'arrêts de bus ou de véhicules stationnés à moins de 5 m du carrefour. Mais cette étude a nécessité beaucoup d'efforts pour la collecte de données. De plus, les relevés ont été faits par plusieurs équipes, ce qui peut entraîner des différences dans l'application de la méthode de collecte.

Les données sont donc fondamentales pour l'étude des victimes de la route. Comme elles manquent souvent, les études se limitent à un petit nombre de sites pour lesquels les données sont disponibles ou sont collectées. Des données agrégées peuvent aussi être utilisées pour décrire des phénomènes à une échelle plus large. Celles-ci sont disponibles plus facilement par le biais des organismes de statistiques comme la NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) aux États-Unis.

Par exemple, une étude désagrégée a été effectuée dans la ville de San Antonio (Dumbaugh & Rae, 2009). Les facteurs explicatifs ont été déterminés à l'échelle des ilots, tel que définis par le bureau du recensement américain (US Census Bureau) et comprennent le nombre total de miles parcourus, la densité de population, le nombre de carrefours à trois ou quatre voies ou encore le nombre de grands centres commerciaux et de commerces de proximité. Une autre étude (LaScala, Gruenewald, & Johnson, 2004) étudie le risque de collision entre les enfants et les véhicules en fonction de variables socioéconomiques d'unités géographiques. Mais l'analyse agrégée (c'est à dire à une échelle spatiale plus large que le carrefour ou le tronçon de rue) implique une perte de précision. Elle permet de couvrir de larges superficies mais empêche une analyse spatiale intra zone.

Le risque routier est ainsi lié aux aménagements routiers et à la conception du réseau. Dans l'étude précédente, le nombre d'artères dans les ilots augmente le nombre d'accidents alors que la présence de commerces de proximité est une variable négative du risque de collisions. En effet, les différents usagers du réseau routier (piétons, cyclistes, automobilistes, usagers de transport en

¹ <http://donnees.ville.montreal.qc.ca/dataset?q=comptages>

commun, conducteurs de véhicules commerciaux, etc.) partagent le même espace. Cela mène à des conflits entre usagers (carrefours, cycliste sur routes, passages piétons, etc.).

Est-ce que le partage de l'espace urbain est équitable ? Il est difficile de répondre à cette question tant les besoins sont différents et ont évolué au cours du temps. La conception actuelle des réseaux routiers traduit les différents choix d'urbanisme et les différentes priorités historiques accordées aux modes de transport. Jusqu'à la révolution de l'automobile, les villes étaient conçues et construites essentiellement à l'échelle du piéton. Mais l'apparition des véhicules et des transports en commun a changé cette vision. L'étalement urbain a prédominé dans la deuxième moitié du XX^{ème} siècle, avec le développement économique rapide et la démocratisation de la voiture. Les piétons et les vélos étaient alors peu considérés dans les politiques publiques. Or cet étalement urbain serait responsable de nombreux maux, pollution de l'air, accidents, perte de liens sociaux ou encore ségrégations des populations (Frumkin, 2002).

1.2 Objectifs de la recherche

Le premier objectif de l'étude est de développer une méthode systématique, reproductible et flexible d'analyse des victimes de la route sur l'île de Montréal afin de s'affranchir de la collecte des données, coûteuse en temps et en effort. On valorisera les données existantes pour cela. Le deuxième objectif est de proposer une mesure du partage de la rue qui permet de quantifier le partage du réseau routier urbain entre ses usagers. En effet, il n'existe pas de mesure objective et quantitative du partage de la route. L'objectif est donc de créer, d'opérationnaliser et de valider un indicateur de partage de la route. Le lien entre partage de la rue et nombre de blessés ne fait pas l'objet de ce mémoire, mais il pourra faire l'objet de recherches ultérieures.

1.3 Structure du mémoire

Le mémoire comprend sept chapitres. Le premier correspond à l'introduction et à la présentation du problème. Le chapitre 2 présente une revue des travaux déjà effectués. Le chapitre 3 introduit les différentes bases de données utilisées. Le chapitre 4 détaille la construction des réseaux des liens et des carrefours créés pour l'étude. Le chapitre 5 présente les modèles descriptifs des

victimes de la route en fonction des variables explicatives. Le chapitre 6 traite de l'indicateur du partage de la route. Enfin, le dernier chapitre résume les résultats et présente les perspectives de recherche.

1.4 Méthodologie générale

La méthodologie repose sur la création des réseaux de liens et de carrefours. Ces réseaux doivent être adaptés pour être le support de toutes les données qui leur seront attribuées. Les débits journaliers des voitures, des occupants de voitures, des piétons et des cyclistes sont calculés en affectant les déplacements de l'enquête Origine-Destination 2008 de la grande région de Montréal sur le réseau routier. Les déplacements sont ensuite agrégés pour obtenir un estimé des débits sur chaque lien et chaque carrefour. Ces estimés ne sont pas représentatifs du débit total sur les routes et les carrefours, puisqu'ils s'appuient sur les déplacements types des résidents du territoire lors d'un jour moyen de semaine d'automne. Ils permettent cependant d'avoir une estimation de l'utilisation relative des infrastructures routières et de dresser un portrait global des déplacements. Les aménagements urbains (pistes cyclables, voies de bus) sont obtenus à partir de fichiers tiers. Les largeurs des chaussées et des trottoirs sont mesurées à l'aide de fichiers géomatiques de l'île de Montréal.

Pour déterminer les variables explicatives, des modèles de régression sont calculés. Cela permet de déterminer quels sont les facteurs significatifs de risque et de quantifier le rôle de chaque facteur dans le risque de blessure. Ensuite, on développe un indicateur de partage de la rue avec les largeurs des trottoirs et des chaussées. Sa distribution spatiale et historique est explorée.

Le lien entre le partage de la rue et le nombre de blessé n'est pas traité dans ce mémoire mais est identifié comme une perspective de recherche intéressante.

La Figure 1-1 présente le schéma méthodologique de l'étude.

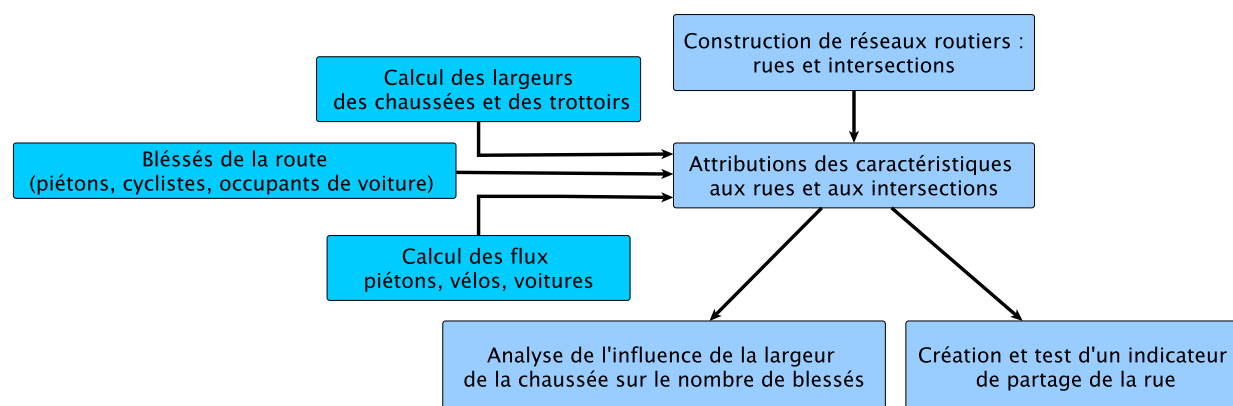


Figure 1-1 Schéma méthodologique

CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE

2.1 Collisions routières

Les études sur la distribution et la fréquence des accidents sont nombreuses et variées. Elles couvrent un large champ de méthodes et de modélisations. Beaucoup de recherches se concentrent sur les caractéristiques du réseau routier en excluant les facteurs liés au comportement des usagers (Cafiso, Di Graziano, Di Silvestro, La Cava, & Persaud, 2010; Carson & Mannering, 2001; J. Milton & Mannering, 1998; Shankar, Mannering, & Barfield, 1995). Ces études ont montré que la géométrie du réseau et le débit de circulation ont des impacts sur le nombre d'accidents ainsi que sur le nombre de piétons, cyclistes et automobilistes blessés.

Ewing and Dumbaugh (2009) font une revue des travaux traitant de l'effet de l'environnement sur la sécurité du trafic. Ils montrent que l'environnement des zones urbaines denses est plus sécuritaire que celui des banlieues, dont les habitants utilisent plus la voiture, en termes d'accidents par millions de km parcourus. Les mesures d'apaisement de la circulation, les rues étroites ou encore la présence d'arbres au bord des rues ont tendance à réduire le risque d'accident dans les centres urbains. En effet, de tels aménagements réduiraient la sensation de sécurité des conducteurs de véhicules motorisés et les inciteraient ainsi à être plus vigilants et à ajuster leur vitesse. Grundy et al. (2009) ont étudié l'effet de la création de zones à 20 miles par heure (32km/h) à Londres sur le nombre de blessés. Ils montrent que l'introduction de ces zones à vitesse réduite se traduit par une forte réduction des victimes de la route, en prenant en compte l'évolution temporelle du nombre de victimes global.

Thomas and DeRobertis (2013) ont fait une revue de l'effet de la construction des pistes cyclables sur la sécurité. Ils montrent que leur présence réduit effectivement le nombre de collisions et de blessures. Les pistes cyclables à une voie de chaque côté de la rue apparaissent plus sécuritaires que les pistes cyclables bidirectionnelles (à double voies). Selon eux, la principale limite des études qu'ils ont examinées est la difficulté de déterminer la gravité des blessures et d'accéder aux débits des cyclistes et des voitures.

L'analyse du nombre de piétons et cyclistes blessés sur le réseau doit en effet prendre en compte les débits des piétons et cyclistes qui sont associés au nombre de blessés. Le nombre de cyclistes

blessés augmente ainsi avec les débits de cyclistes et de véhicules motorisés (Lusk et al., 2011; Strauss, Miranda-Moreno, & Morency, 2013a). Il est cependant possible d'effectuer une analyse des accidents de la route sans prendre en compte ces données. Par exemple, Mohamed, Saunier, Miranda-Moreno, and Ukkusuri (2013) ont effectué une analyse de la gravité des blessés à New York et Montréal. Ils ont montré que l'environnement urbain avait un effet sur la gravité des accidents. L'étude de Lusk et al. (2011) montre que les cyclistes sont plus nombreux sur les liens avec des pistes cyclables que ceux sans aménagements spécifiques. Mais le nombre de blessures par vélo-kilomètre est plus faible sur les liens avec pistes cyclables. Les débits d'utilisateurs doivent donc être pris en compte dans l'analyse des victimes de la route, mais ces données sont difficilement accessibles à l'échelle d'un réseau entier. L'étude de Lusk et al. a par exemple été effectuée sur 12 rues à Montréal.

La largeur des rues n'est que rarement prise en compte dans les analyses des collisions routières urbaines car ces données sont habituellement non disponibles. Une étude récente effectuée à Montréal (Strauss et al., 2013a) analyse l'impact de la largeur des traversées aux carrefours sur le risque de blessure des cyclistes. Mais les données sont limitées à une proportion des carrefours à feu de l'île (647 carrefours contre 2310 au total), et à une faible proportion si on compare au nombre de carrefours total (plus de 17 000 sur l'île de Montréal).

2.2 Modèles de régression

Pour décrire le nombre de victimes, des modèles de régression sont utilisés. Ils permettent de déterminer le nombre moyen d'accidents en fonction de variables explicatives. Chaque variable explicative est associée à un coefficient qui est déterminé après un apprentissage. Les modèles les plus utilisés sont de la famille des modèles linéaires généralisés. Les modèles linéaires simples ne sont pas suffisants et ne permettent pas de décrire efficacement le risque d'accidents (Miaou & Lum, 1993). Le modèle le plus utilisé dans la littérature est le modèle de Poisson et ses modèles dérivés : modèle négatif binomial et le modèle de Poisson à zéros surreprésentés (zero-inflated poisson model). Ses caractéristiques sont adaptées à la répartition des accidents. En effet la répartition est souvent déterminée par une grande proportion de carrefours ou de rues sans blessés (en raison de la probabilité souvent faible d'un accident de la route) et ces modèles sont en général les plus performants (Miaou, 1994). Les modèles logistiques sont aussi utilisés pour

décrire le risque de collisions (Al-Ghamdi, 2002; J. C. Milton, Shankar, & Mannering, 2008; Yau, Lo, & Fung, 2006). Ceux-ci cherchent à déterminer les facteurs explicatifs des collisions, comme les aménagements routiers.

Le champ d'application des études varie. Cela peut varier d'un seul carrefour et échangeur, à un territoire entier. Une étude typique est l'analyse d'un ensemble de carrefours (Kim, Kim, & Park, 2011). Kim et al. (2011) ont étudié un ensemble d'échangeurs autoroutiers. Ils ont observé que le nombre d'accidents était positivement associé au débit et négativement associé au rayon de courbure de l'échangeur. D'autres étudient un ensemble de liens routiers (Karlaftis & Golias, 2002). Dans l'étude de Karlaftis and Golias (2002), les données proviennent du ministère des transports de l'Indiana et de la police d'état de l'Indiana pour les accidents. Ils montrent que la largeur de la voie, le type de revêtement ou encore la présence de virages à gauche sont associés significativement sur le risque d'accidents. Avec l'amélioration des algorithmes et des puissances de calcul, d'autres types de modèle de prédiction sont apparus. Li-Yen Chang a montré que les réseaux de neurones artificiels étaient une alternative aux modèles de régression binomiaux utilisés couramment pour décrire le risque de collisions (Chang, 2005). Pour cela, il a collecté les données des accidents sur l'autoroute nationale 1 de Taiwan et comparé les résultats des différents modèles. Il en conclut que les réseaux de neurones étaient assez performants pour constituer une alternative sérieuse aux modèles classiques. Cependant, l'analyse des résultats est plus difficile; ceux-ci ne permettent pas d'expliquer les facteurs qui influent sur le risque d'accidents mais juste de prédire un nombre d'accidents moyen. Une autre équipe a comparé les réseaux bayésiens aux modèles de régression (Zong, Xu, & Zhang, 2013) pour les accidents routiers dans la province de Jilin en Chine pour l'année 2010. Après apprentissage, les réseaux bayésiens donnaient de meilleurs résultats prédictifs que les modèles de régression classiques car ils sont plus spécifiques. Les nouveaux modèles ouvrent ainsi de nouvelles perspectives mais leur utilisation n'est encore que peu répandue. Leur fonctionnalité est de plus différente : ils effectuent des prédictions mais ce ne sont pas des modèles explicatifs.

À Montréal, des études ont été effectuées sur les collisions avec les piétons (Mohamed et al., 2013; Zahabi, Strauss, Manaugh, & Miranda-Moreno, 2011). Zahabi et al. 2011 ont étudié un ensemble de données provenant de différentes sources à Montréal. Elles sont constituées d'informations et de caractéristiques du lieu de l'accident (jour de la semaine, type de véhicule, type de route, visibilité, carrefour), de caractéristiques démographiques (densité, revenu, nombre

d'emplois du quartier) et de caractéristiques de la route (artère, autoroute, distance au carrefour le plus proche). Le champ d'étude était entre 2003 et 2006. L'étude n'avait cependant pas accès à des données de débits.

Cet ensemble de données a été utilisé par Mohamed et al. (2013) pour des modèles de regroupement (clustering) pour l'analyse de la gravité des accidents. L'étude montre que les variables les plus liées à l'augmentation de la gravité des accidents sont la présence de virage à droite, le revenu moyen, l'accès au transport en commun et la présence de stationnement. Mais comme l'étude précédente, les débits d'utilisateurs ne sont pas pris en compte.

L'étude des accidents a été faite par plusieurs études sur un échantillon de carrefours à Montréal. Une étude a porté sur les victimes cyclistes (Strauss, Miranda-Moreno, & Morency, 2013b) et une autre sur les victimes piétonnes (P. Morency et al., 2015). Mais ces études ont nécessité des collectes de données coûteuses en effort et en temps (comptages, mesure des largeurs). L'objectif est de généraliser ce type d'étude à l'ensemble de l'île de Montréal en s'affranchissant de la collecte des données. Pour cela, on valorisera les données existantes.

2.3 Partage de la rue

Le partage de la rue est la manière dont l'espace urbain public est attribué aux différents modes de transport. Ce thème est abordé dans différents plans d'urbanisme et de transport : « La Charte propose un nouveau partage de la rue plus favorable à la marche, pour la rendre plus sécuritaire et conviviale [...] La ville de Montréal redéfinit le partage de l'emprise publique en faveur de la marche » (*Charte du piéton*, 2006) ou encore les « objectifs principaux du PDU du Plateau-Mont-Royal sont de revoir le partage de la voie publique et de l'espace urbain pour une meilleure cohabitation et une meilleure complémentarité entre les différents modes de déplacement et de revoir la place accordée à chaque mode de déplacement sur le territoire de l'arrondissement » (*Plan de déplacement urbain du Plateau-Mont-Royal*, 2009). Un indicateur global de partage de la rue permettrait de quantifier ce partage et d'étudier ses variations spatiales et temporelles et serait un outil utile pour les municipalités désirant l'évaluer. C. Morency and Verreault (2014) ont proposé une première définition théorique d'indicateur de partage de la rue basé sur la répartition de l'espace au sol entre les différentes clientèles.

La mesure de la largeur des chaussées et des trottoirs va permettre de créer un indicateur de la rue. Plusieurs travaux s'intéressent au partage de l'espace public et routier dans les villes. Un thème récurrent de recherche est l'intérêt de créer une voie réservée de transport en commun dans une rue. En effet, l'implantation d'une voie réservée permet d'augmenter la capacité des transports en commun mais diminue l'espace alloué aux autres véhicules et peut augmenter la congestion de ces voies la congestion automobile. Si la voie de bus est à capacité maximale, l'allocation de celle-ci a un effet positif à la fois pour les usagers du réseau de transport (efficacité, rapidité) mais aussi de la circulation automobile en réduisant les conflits entre bus et autos (Guler & Cassidy, 2012). Currie, Sarvi, and Young (2004) étudient les impacts de l'implantation de voies de bus dans la ville de Melbourne au niveau des usagers, de l'opérateur de transport collectif et des infrastructures. Ils développent une méthodologie afin d'évaluer les avantages et les bénéfices d'une telle mesure sur un segment routier. À plus large échelle, Gonzales et al. ont développé une simulation multimodale à San Francisco permettant d'étudier l'effet du partage de la chaussée entre transport en commun et automobile à l'échelle d'une ville (Gonzales, Geroliminis, Cassidy, & Daganzo, 2010). Les auteurs montrent que l'implantation de voies réservées au transport en commun sur certaines rues amène à plus de fluidité et à une réduction de la congestion routière.

Les « zones de rencontre » ont aussi fait l'objet de plusieurs études. Celles-ci consistent en une zone, souvent en centre-ville, où tout l'espace public est partagé entre les usagers des différents modes de transport où les piétons et les cyclistes ont la priorité (A. Karndacharuk, D. J. Wilson, & R. Dunn, 2014). En Nouvelle-Zélande, deux études s'intéressent à la performance et à la sécurité des piétons dans ces zones en comparant des données avant et après la création de celles-ci (Karndacharuk, Wilson, & Dunn, 2013; A. Karndacharuk, D. Wilson, & R. Dunn, 2014). Les auteurs montrent que l'implantation de ces zones a augmenté le nombre de piétons, a réduit la vitesse des voitures lorsque la densité des piétons augmente et a réduit le taux de collisions entre piétons et véhicules motorisés. Ces « zones de rencontre » ne sont pas généralisables à un réseau entier, mais sont pertinentes dans les rues des centres urbains où les flux de piétons sont élevés. Kaparias, Bell, Miri, Chan, and Mount (2012) ont montré que les piétons se sentent plus en sécurité dans les zones de partage sous condition que le débit de piétons soit élevé, que l'éclairage soit bon et que des aménagements spécifiques aux piétons soient présents. Les

conducteurs se sentent au contraire moins en sécurité dans les mêmes conditions et sont plus vigilants.

Un autre champ d'étude du partage de la rue bien documenté est la présence d'aménagements cyclables sur le réseau. L'implantation des pistes et voies cyclables rend les déplacements à vélo plus sûrs et incite au vélo. Dans son étude, Jensen (2008) montre que l'implantation de pistes cyclables à Copenhague au Danemark entre 1978 et 2003 a conduit à une réduction du nombre de collisions entre vélo et véhicule motorisé, à une augmentation du trafic cycliste sur l'ensemble du réseau et à une réduction du trafic automobile. L'implantation d'un réseau cyclable a donc conduit à l'augmentation de l'activité physique, à la réduction de la pollution et du bruit routier. Une autre étude analyse comment l'Allemagne, le Danemark et les Pays-Bas ont rendu l'usage du vélo populaire (Pucher & Buehler, 2008). Ils montrent que la création de pistes cyclables séparées de la chaussée le long des rues achalandées et la mise en place de mesures d'apaisement de la circulation dans les quartiers calmes sont liés à des débits cyclistes importants. Cela n'est qu'un aspect de la politique cyclable mise en place dans ces pays; les auteurs montrent que de multiples mesures ont popularisé l'usage du vélo comme le développement de zones urbaines polyvalentes qui réduisent les trajets et les rendent plus cyclables, ou encore les taxes liées à l'utilisation de la voiture (péages, stationnement payant, etc...).

CHAPITRE 3 SOURCES DE DONNÉES

Dans ce chapitre, on présente l'ensemble des bases de données utilisées dans ce mémoire.

3.1 Territoire de l'étude

Les délimitations du réseau routier construit pour l'étude sont celles de la Communauté Métropolitaine de Montréal (CMM), mais les analyses portant sur le partage et le risque se limitent au territoire de l'île de Montréal. Cela permettra de valoriser le réseau pour des études futures en élargissant le territoire d'analyse. Les délimitations de la CMM et de l'île proviennent du site internet de la CMM². La carte de la CMM est donnée en Figure 3-1.

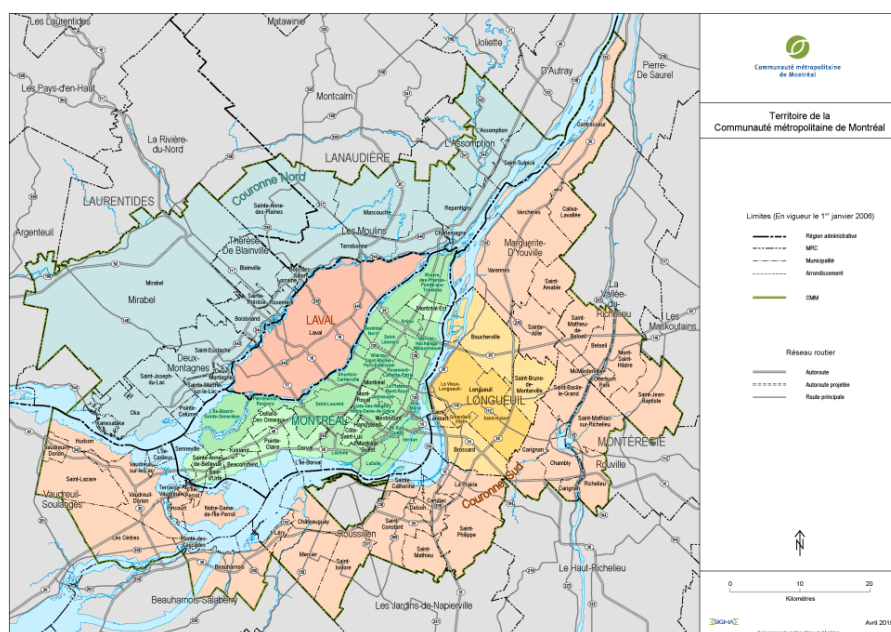


Figure 3-1 Délimitation de la communauté Métropolitaine de Montréal³

² <http://cmm.qc.ca/donnees-et-territoire/observatoire-grand-montreal/produits-cartographiques/>

³ http://cmm.qc.ca/fileadmin/user_upload/carte/2015_cmm_general_8x11.pdf

3.2 Réseau routier

Le réseau routier constitue le socle de l'étude. C'est le support qui rassemble toutes les données acquises au fur et à mesure de la progression du projet. Le format de ce réseau doit cependant être adapté afin de convenir à notre étude.

Le réseau routier brut est extrait d'OpenStreetMap (OSM), qui est un projet de collecte de données géographiques collaboratif, gratuit et en données libre⁴. Le réseau est accessible sur le portail internet du projet, <http://www.openstreetmap.org/>. Plus d'un million de contributeurs ont déjà été recensés. Le réseau extrait correspond à l'étendue de la Communauté Métropolitaine de Montréal (voir Figure 3-1). Il comprend 183 841 liens.

Le réseau brut contient des attributs de base :

- Id du lien
- Longueur
- Nom
- Catégorie
- Coordonnées du nœud origine
- Coordonnées du nœud destination

Le réseau OpenStreetMap contient une typologie de segments routiers, donnée dans le Tableau 3-1. Cette catégorisation contient 21 catégories.

Le choix a été fait d'exclure de l'étude les autoroutes et les bretelles d'autoroutes. En effet, on considère qu'elles nécessitent une analyse spécifique car elles sont exclusivement utilisées par les véhicules à moteur. L'étude des victimes sur les autoroutes pourra faire l'objet de recherches ultérieures. Il y a ensuite deux types de liens routiers : ceux avec circulation de véhicules motorisés et ceux sans. L'étude ne se fera que sur les liens avec présence de véhicules à moteur et exclut ainsi les sentiers piétons et cyclistes.

⁴ <http://www.openstreetmap.org/about>

Tableau 3-1 Classification des liens routiers OSM

Type de liens routiers du réseau OSM (classe)	Modes de transports autorisés	Définition
Autoroute	Véhicule à moteur	Route majeure à accès limité à 2 voies et plus
Lien d'autoroute	Véhicule à moteur	
Grand axe interurbain	Véhicule à moteur	Routes les plus importantes qui ne sont pas des autoroutes
Lien de grand axe interurbain	Véhicule à moteur	
Route principale	Véhicule à moteur/vélo	Deuxième type de routes les plus importantes (lien entre grandes villes)
Lien de route principale	Véhicule à moteur/vélo	
Route secondaire	Véhicule à moteur/vélo	Troisième type de routes les plus importantes
Lien de route secondaire	Véhicule à moteur/vélo	
Route tertiaire	Véhicule à moteur/vélo	Quatrième type de routes les plus importantes
Lien de route tertiaire	Véhicule à moteur/vélo	
Rue résidentielle	Véhicule à moteur/vélo	Route avec accès aux logements
Rue	Véhicule à moteur/vélo	Route mineure
Voie hors classement	Véhicule à moteur/vélo	
Voie de service	Véhicule à moteur/vélo	Route menant à des zones industrielles
Rue piétonne (rue partagée)	Véhicule à moteur/vélo/piéton	Route réservées principalement aux piétons
Chemin cycliste et piéton	Vélo/piéton	Chemin pour cyclistes et piétons
Chemin	Vélo/piéton	Chemin non spécifique
Chemin cyclable/piste cyclable	Vélo	Chemin pour cyclistes
Chemin piéton	Piéton	Chemin pour piétons
Escaliers	Piéton	Escaliers

À partir de ce réseau brut, deux réseaux sont créés :

- Un réseau de carrefours;
- Un réseau de tronçons de rue exclusifs des carrefours, c'est à dire que les rues ne croisent pas les carrefours.

Les détails de cette opération seront précisés dans le chapitre suivant. Un aperçu du réseau brut et des réseaux finaux est présenté en Figure 3-2 et Figure 3-3



Figure 3-2 Réseau OSM brut avec nom des rues

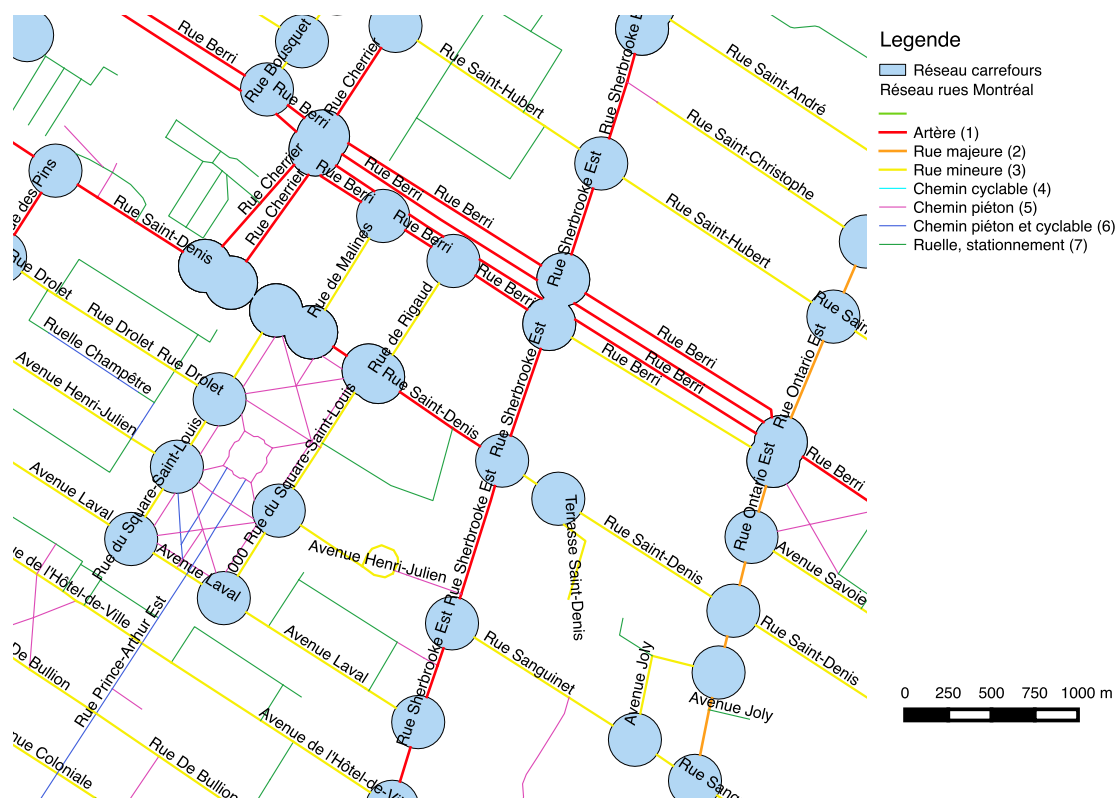


Figure 3-3 Réseaux de liens et de carrefours finaux.

3.3 Base de données des victimes

La base de données des victimes de la route a été fournie et traitée par la Direction de la Santé Publique. Il s'agit des données d'accidents (un accident avec plusieurs victimes a été reproduit) provenant de la SAAQ (Société de l'assurance automobile du Québec) qui ont elles-mêmes été élaborées à partir des rapports d'accidents remplis par les policiers entre 2003 et 2012. Cette durée a été choisie pour avoir un nombre suffisant de victimes, le nombre annuel de victimes (proche de 20 000 pour la CMM) étant inférieur au nombre de carrefours (57 165) et de liens routiers (129 366) de la CMM.

Le fichier transmis contient la date et l'heure de la localisation, le type d'utilisateur impliqué, le type de véhicule que la victime utilisait et, dans certain cas, la localisation. On ne s'intéresse qu'aux accidents avec victimes car les accidents sans victimes sont beaucoup moins bien rapportés. On n'a cependant pas accès au taux de déclaration des accidents avec (et sans) victimes, ce qui constitue une limite de l'étude. Le résumé des données des victimes est présenté dans le Tableau 3-2.

Tableau 3-2 Base de donnée des victimes

Base de données des victimes de la route dans la CMM		
<i>Nombre total de victimes</i>	188 968	100,0%
Autoroutes		
<i>Sur Autoroute</i>	30 295	16,0%
<i>Hors autoroute (lieu de l'accident localisé)</i>	134 244	71,0%
<i>Hors autoroute (lieu de l'accident non localisé)</i>	24 429	12,9%
<i>Total</i>	188 968	100,0%
Période		
<i>Semaine</i>	139 699	73,9%
<i>Fin de semaine</i>	49 269	26,1%
<i>Total</i>	188 968	100,0%
Année		
<i>2003</i>	20 809	11,0%
<i>2004</i>	20 664	10,9%
<i>2005</i>	21 775	11,5%
<i>2006</i>	20 258	10,7%
<i>2007</i>	19 140	10,1%

Tableau 3-3 Base de données des victimes (suite)

<i>2008</i>	16 991	9,0%
<i>2009</i>	17 728	9,4%
<i>2010</i>	18 203	9,6%
<i>2011</i>	17 480	9,3%
<i>2012</i>	15 920	8,4%
<i>Total</i>	188 968	100,0%
Catégorie d'usagers		
<i>1 : Occupants de véhicules à moteur</i>	145 403	76,9%
<i>2 : Motos ou cyclomoteur</i>	9 622	5,1%
<i>3 : Ski-Doo, VTT</i>	73	0,0%
<i>4 : Cycliste</i>	12 795	6,8%
<i>5 : Piéton</i>	20 700	11,0%
<i>6 : Non précisé</i>	375	0,2%
<i>Total</i>	188 968	
Véhicule de la victime		
<i>1 : Moto ou cyclomoteur</i>	9 131	4,8%
<i>2 : Motoneige, VTT</i>	58	0,0%
<i>10 : Automobile</i>	135 180	71,5%
<i>11 : Autre véhicule léger</i>	1 258	0,7%
<i>100 : Camion</i>	1 467	0,8%
<i>101 : Bus</i>	2 540	1,3%
<i>102 : Véhicule lourd</i>	315	0,2%
<i>200 : Camions, auto autres</i>	22	0,0%
<i>300 : Autres</i>	8	0,0%
<i>998 : manquant (cyclistes)</i>	18 236	9,7%
<i>999 : manquant (piétons)</i>	20 753	11,0%
<i>Total</i>	188 968	100,0%
Carrefour		
<i>Non associé</i>	55 462	29,3%
<i>Carrefour</i>	100 537	53,2%
<i>Lien</i>	32 969	17,4%
<i>Total</i>	188 968	100,0%
État de la victime		
<i>Blessés légers</i>	178 912	94,7%
<i>Blessés graves</i>	8 837	4,7%
<i>Décès</i>	1 219	0,6%
<i>Total</i>	188 968	100,0%

Ces victimes seront triées puis attribuées sur les réseaux des carrefours et des liens routiers. Elles seront affectées sur tout le territoire de la CMM mais l'analyse ne sera effectuée que sur l'île de Montréal.

3.4 Enquête Origine-Destination 2008

L'enquête Origine-Destination (OD) 2008 est « une recherche par entrevues téléphoniques qui a pour but de tracer un portrait général de l'ensemble des déplacements faits par les résidents de la région peu importe le moyen de transport utilisé. » (*Enquête Origine-Destination 2008, Faits saillants*, 2009). Cette enquête est effectuée par un consortium d'autorités de transport de la grande région de Montréal. L'Agence Métropolitaine des Transports (AMT) accueille le Secrétariat aux enquêtes OD dans la région de Montréal

Cette enquête contient l'origine et la destination de tous les déplacements d'une partie représentative de la population de la grande région de Montréal. En 2008, elle a été effectuée auprès de 66 100 ménages et décrit les caractéristiques d'environ 322 800 déplacements réalisés par 156 700 habitants de 121 municipalités. Un facteur de pondération est attribué à chaque ménage, personne et déplacement afin de permettre de faire des estimations pour l'ensemble des résidents du territoire d'enquête; cela permet notamment d'estimer le nombre total de déplacements effectués quotidiennement par les résidents lors d'un jour moyen de semaine d'automne tel que considéré par l'AMT.

Cette enquête va permettre de déterminer les débits journaliers moyens via l'affectation des déplacements sur le réseau des rues et des carrefours. Celle-ci est réalisée avec le calculateur de chemin développé à la Chaire Mobilité de Polytechnique Montréal. Celui-ci peut affecter les déplacements sur le réseau routier en fonction de l'origine et de la destination et d'hypothèse d'emprunt du plus court chemin. Les vitesses sont évaluées en fonction de la vitesse affichée ou estimée avec des traces GPS, avec des pénalités de virage et de traversée d'un carrefour à feux. On obtient ainsi des itinéraires plausibles pour chaque déplacement, ce qui dresse un portrait des déplacements quotidiens des résidents sur le réseau. Chaque déplacement est associé aux liens et les carrefours qu'il traverse. Chaque lien et chaque carrefour contiennent la somme des trajets quotidiens qui les traversent. On estime ainsi les débits quotidiens plausibles sur les tronçons de rue et les carrefours du réseau. Dans le cadre de cette recherche, les flux utilisés ne tiennent donc

pas compte de la période de la journée ni de la direction (pour les liens) ou de la direction d'approche (pour les carrefours). Cependant, cette information est disponible et pourrait être valorisée pour des analyses futures.

3.5 Couche de base de l'île de Montréal

Nous avons obtenu un fichier géomatique de la ville de Montréal, appelé la couche de base. Les données sources de ce fichier et le niveau de précision ne sont pas connus, ce qui constitue une limite de l'étude. Ce fichier contient une quantité importante d'information. Les routes y sont représentées ainsi que de nombreux autres éléments, comme les bâtiments, les arbres, les bouches incendies ou encore les étangs. Il y a plus d'une soixantaine de types de lignes. Cette base de données couvre toute l'île de Montréal et est divisée en 967 fichiers couvrant chacun une zone en forme de rectangle.

Un exemple de fichier est présenté en Figure 3-4. La rue principale Nord-Sud est l'avenue Papineau et les rues transversales sont d'ouest en est : la rue Saint-Grégoire, l'avenue Laurier, le boulevard Saint-Joseph et la rue Gilford

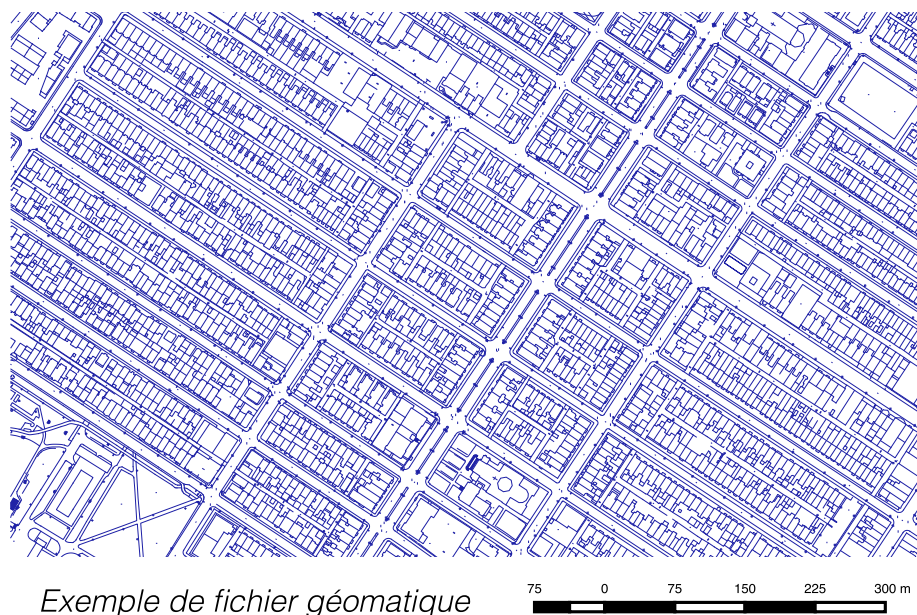


Figure 3-4 Exemple de fichier géomatique

Cette base de données servira à calculer la largeur des rues et des trottoirs sur l'ensemble de l'île de Montréal.

3.6 Rôle foncier

Le rôle foncier est une base de données déterminant la date de construction et la valeur de chaque bâtiment sur l'île de Montréal. Ces données seront utilisées pour déterminer l'année de construction moyenne des bâtiments autour d'un lien et faire ainsi une carte de l'année de construction moyenne des liens à Montréal.

Dans cette étude, seuls les bâtiments résidentiels seront considérés. La base de données utilisée contient 392 242 bâtiments. Les attributs sont : la localisation, l'année de construction, la valeur du bâtiment, le numéro de rue et l'arrondissement.

3.7 STM (GTFS)

3.7.1 Voies réservées de bus

Le fichier géographique contenant les voies réservées de bus provient de la STM et n'est pas public. Il contient une série de caractéristiques des voies réservées (heures et période d'opération, ouverture aux vélos, aux taxis et au covoiturage). Ce fichier est utilisé pour déterminer quelles sont les rues comportant des voies réservées de transport en commun sur l'île de Montréal.

3.7.2 GTFS

Le GTFS (General Transit Feed Specification) « est un format informatique standardisé pour communiquer des horaires de transports en commun et les informations géographiques associées (topographie d'un réseau : emplacement des arrêts, tracé des lignes) » (source Wikipédia). Il contient une série de fichiers qui permettent de déterminer les fréquences de passage des véhicules de transport en commun et le tracé des lignes de transport en commun dans le réseau routier.

Le fichier GTFS de la Société de Transport de Montréal (STM) est utilisé pour déterminer les rues où circulent les bus et le nombre de passages quotidiens pour un jour de semaine.

3.8 Voies cyclables

Le fichier des pistes cyclables provient des données ouvertes de la ville de Montréal, mis à jour en 2015. Le fichier contient de nombreuses informations sur les pistes cyclables. Les attributs qui nous intéressent sont : le type de piste, le nombre de voies cyclables, la présence d'un séparateur et la largeur de la voie. Les chaussées désignées dans le réseau cyclable n'ont pas été prises en compte. En effet, celles-ci consistent en la présence d'un panneau pour avertir de la présence de cyclistes mais aucun aménagement particulier n'est présent pour la circulation cycliste. Ces voies sont donc exclues du réseau cyclable.

3.9 Réseau artériel métropolitain

Nous allons aussi utiliser le fichier des routes constituant le réseau artériel métropolitain (RAM) selon la définition de la CMM⁵, présenté en Figure 3-5. Ce fichier géographique nous permet de déterminer les artères sur le réseau. Cette définition des artères permettra de catégoriser les types de rue et d'identifier les rues majeures où se concentre le trafic.

⁵ http://cmm.qc.ca/fileadmin/user_upload/carte/RAM_classes_2013.pdf

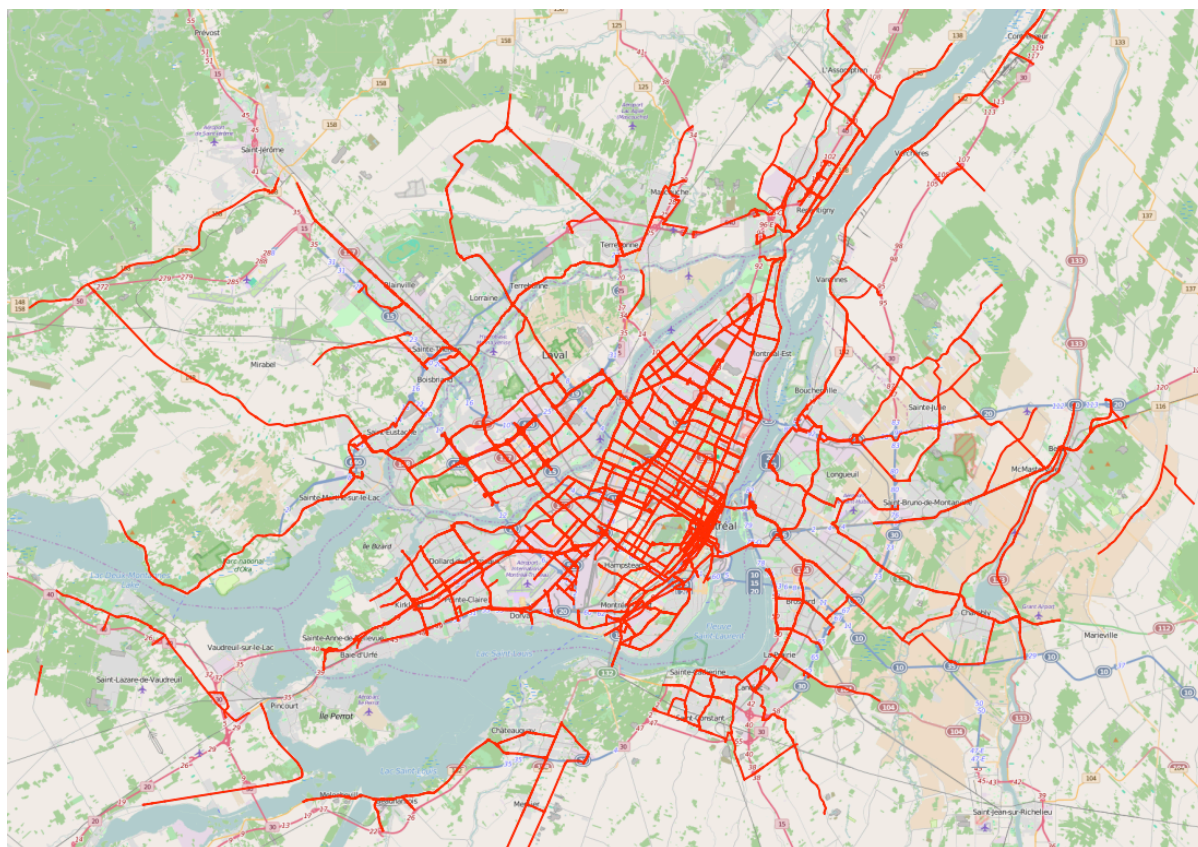


Figure 3-5 Carte du réseau artériel métropolitain de la CMM

CHAPITRE 4 TRAITEMENT ET ATTRIBUTS DU RÉSEAU ROUTIER

Ce chapitre présente les opérations effectuées pour adapter le réseau routier brut à notre étude.

4.1 Réseaux de liens et de carrefours

Le réseau routier brut a été téléchargé depuis OSM (2014). Or ce réseau doit être modifié pour s'ajuster à l'étude :

- La catégorisation des liens est trop détaillée et n'est pas adaptée;
- le réseau OSM inclut les voies routières mais aussi les ruelles et les sentiers dans les parcs. Tous les nœuds (définis comme un croisement de liens) du réseau ne sont donc pas forcément des carrefours routiers mais aussi des croisements entre sentiers, entre ruelles ou croisements dans un stationnement;
- Un carrefour est parfois représenté par plusieurs nœuds lorsque les liens routiers sont dédoublés, par exemple à cause d'un terre-plein central (voir Figure 4-2 pour illustration);
- Chaque lien routier est défini entre deux nœuds (il n'y a pas de nœuds au milieu d'un lien) qui ne sont pas forcément des carrefours routiers mais juste des croisements de liens (voir Figure 4-2 pour illustration)

L'objectif est d'aboutir à deux ensembles :

- Un réseau de carrefours routiers (dont la définition sera donnée plus loin);
- Un réseau de liens routiers

Le processus est automatisé afin de pouvoir l'appliquer à d'autres territoires.

4.1.1 Classification des segments routiers

Nous avons vu dans le paragraphe 3.2 que les liens routiers du réseau OSM étaient déjà catégorisés. Cependant, la catégorisation est trop détaillée (plus de 20 catégories). Elle est donc simplifiée pour aboutir à 7 catégories. Cette classification est adaptée aux besoins de l'étude en permettant notamment de séparer les liens avec circulation de véhicules à moteur et les liens piétons et cyclistes. En effet, l'analyse du risque se limite aux routes avec véhicules à moteur. Pour l'attribution des flux (piétons et cyclistes), les voies sans véhicules doivent être conservées

et identifiées. Les autoroutes ont été supprimées du réseau. Celles-ci sont en effet exclues de l'étude du partage de la route puisque seuls les véhicules motorisés peuvent y circuler; on peut donc déjà déduire que le partage est à 100 % pour ce type de véhicules. De plus, les victimes sur autoroute ne sont pas localisées précisément dans les données obtenues.

La catégorisation retenue dans le cadre de l'étude est donnée dans le Tableau 4-1.

Tableau 4-1 Catégorisation simplifiée pour les fins de l'étude

Type de voies	Catégorie	Modes de transport principaux
Artères selon la RAM	1	Véhicule à moteur
Rue avec un passage de bus	2	Véhicule à moteur
Autre rue	3	Véhicule à moteur
Chemin piéton	4	Piéton
Chemin cyclable	5	Vélo
Chemin piéton et cyclable	6	Piéton/vélo
Autre (ruelles, stationnements, voies privées)	7	Tous modes

- La **catégorie 1** est formée des routes composant le réseau artériel métropolitain (RAM) selon la définition de la CMM. La carte a été présentée en Figure 3-5.
- La **catégorie 2** est formée des rues dans lesquelles une ligne de la STM circule. Cela concerne donc l'île de Montréal uniquement. Le fichier géographique a été constitué à partir du fichier GTFS shapes.txt qui recense les trajets des lignes de bus.
- La **catégorie 3** est formée des autres routes.
- La **catégorie 4** est formée des chemins piétons.
- La **catégorie 5** comprend les chemins cyclistes.
- La **catégorie 6** englobe les chemins mixtes piétons et cyclistes.
- La **catégorie 7** est formée de tous les autres types de voies. Celle-ci comprend notamment les voies de services, les ruelles et les voies de stationnement.

Sur la Figure 4-1, on observe la catégorisation des voies pour une partie des quartiers centraux de Montréal.

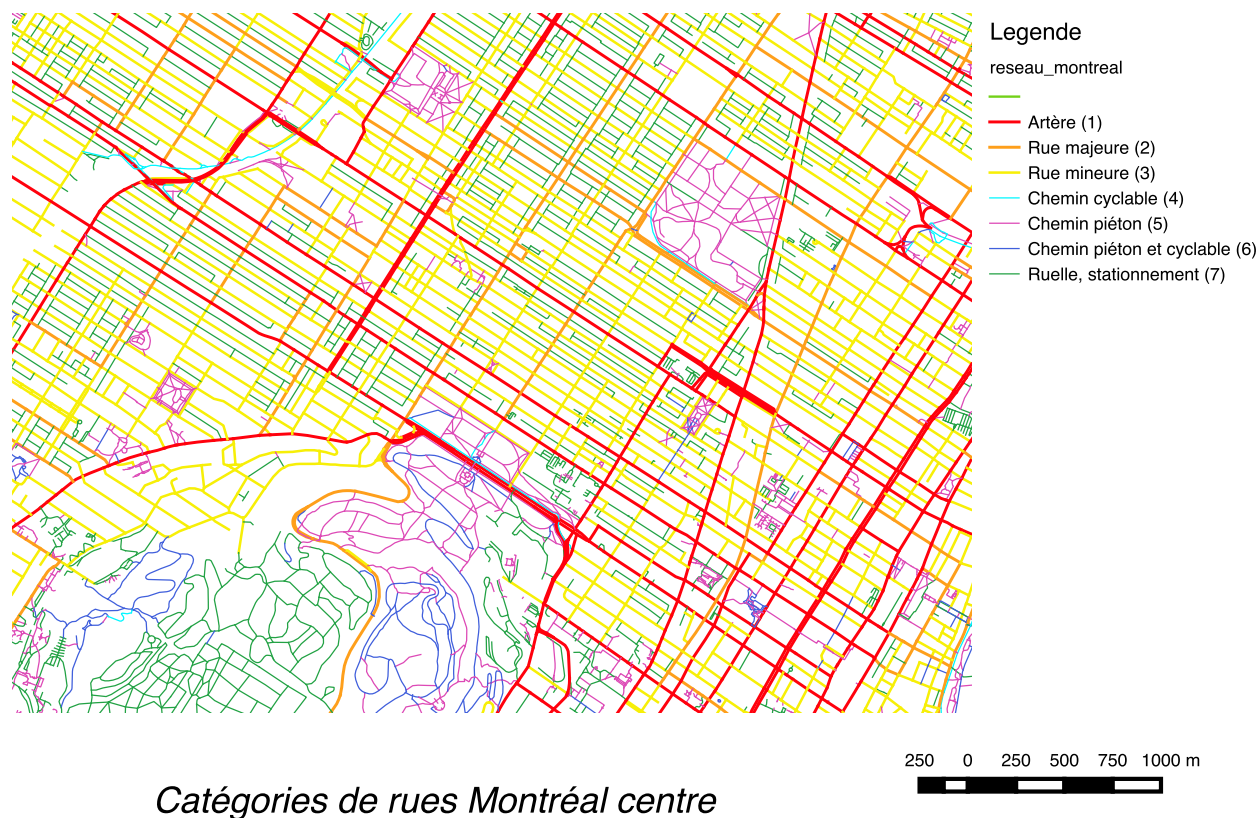


Figure 4-1 Exemple de catégories de voies, Montréal sur le plateau Mont-Royal

4.2 Définition et traitement des carrefours

Pour cette étude, nous nous limitons aux croisements entre voies avec véhicules, que l'on désignera sous le terme de carrefour. Un carrefour doit être représenté par un objet unique : les carrefours complexes avec des nœuds du réseau OSM situés à moins de 20 m les uns des autres sont agrégés. Cette distance correspond à celle du rapport Projet pilote de diagnostic et plan d'action de sécurité routière en milieu municipal (Polytechnique Montréal et Centre urbanisation culture société de l'Institut national de la recherche scientifique réalisé pour le compte du ministère des Transport du Québec, 2015).

Dans cette partie nous allons détailler la méthode qui a mené à la création du réseau de carrefours

4.2.1 Présentation du problème

Les nœuds du réseau OSM brut (c'est à dire les croisements de liens) ne sont pas adaptés pour la création de notre réseau de carrefours. En effet :

- Un nœud du réseau OSM brut peut représenter un carrefour de voies avec véhicules mais aussi des croisements entre voies avec et sans véhicules, ou même des croisements de voies sans véhicules.
- Un carrefour entre deux rues est parfois représenté par plusieurs nœuds. Une rue avec terre-plein central est représentée par 2 liens parallèles. Lorsqu'elle croise une autre rue, plusieurs nœuds sont créés pour un même carrefour

Le problème est illustré en Figure 4-2 ci-dessous.

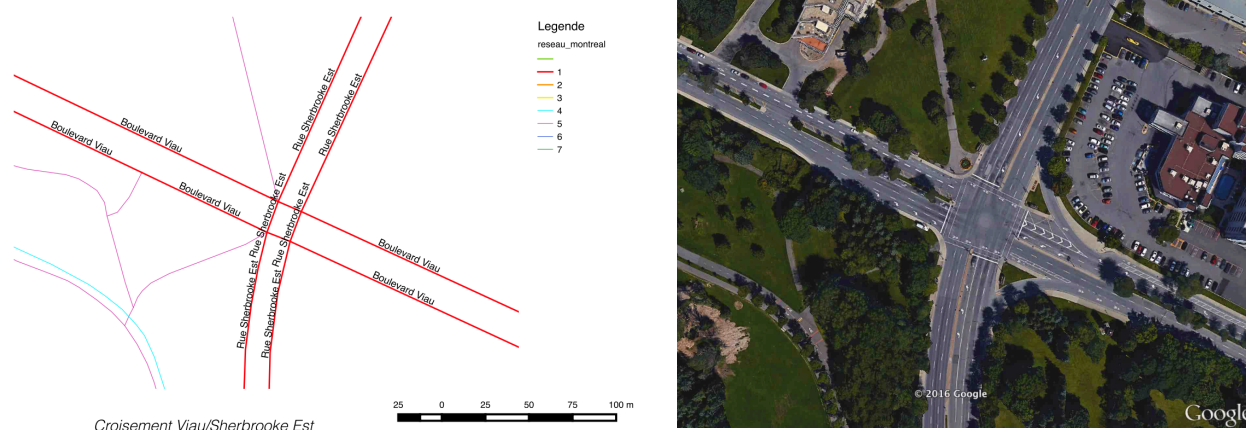


Figure 4-2 Croisement Viau/Sherbrooke Est réseau OSM et vue satellite.

On observe que le croisement du Boulevard Viau et de la rue Sherbrooke Est est représenté par quatre nœuds ponctuels pour le réseau OSM. De plus, on observe qu'à l'ouest du Boulevard Viau, le croisement entre une voie du Boulevard Viau et d'un chemin piéton (catégorie 4) est aussi un nœud. Or considérer ce nœud comme un carrefour n'est pas pertinent : il s'agit juste d'un chemin piéton arrivant sur le trottoir du Boulevard Viau comme on le voit sur la vue satellite.

4.2.2 Définition d'un carrefour

Afin de résoudre le problème du paragraphe précédent, nous allons donner une définition d'un carrefour. **On appelle carrefour routier tout croisement de liens OSM contenant au moins trois liens de catégorie 1 à 3**, c'est à dire les liens où des véhicules motorisés circulent. Cela exclut de fait :

- les croisements uniquement piétons et cyclistes;
- les croisements entre les voies piétonnes et cyclistes et une seule rue (passage piéton, voie cyclable traversant une route);
- les croisements à l'intérieur des stationnements, des ruelles et des voies privées;
- les croisements entre une ruelle et une rue.

Ce dernier point est justifié par le fait que les croisements entre sortie de voies de garage et rue ne sont pas recensés sur OSM.

Cette définition exclut une partie importante des croisements. Le nombre total de nœuds dans le réseau OSM est de 152 965 alors qu'il n'est plus que de 67 791 carrefours avec la définition susmentionnée, ce qui correspond à une diminution de près de 66%.

4.2.3 Carrefours complexes

La définition ci-dessus ne résout pas le problème des carrefours complexes. Le carrefour entre le boulevard Sherbrooke Est et le boulevard Viau représentée en Figure 4-2 comprend toujours quatre nœuds et quatre liens qui ne représentent pas des segments de rues. La fusion des carrefours complexes est ainsi nécessaire. La solution retenue est de créer une zone tampon en forme de cercle de 20 m de rayon autour de chaque nœud du réseau OSM et de fusionner les géométries des zones tampons se touchant. Dans un deuxième temps, les liens à l'intérieur des géométries sont supprimés; la description de cette opération se fera dans le paragraphe suivant. Le carrefour entre le boulevard Viau et la rue Sherbrooke Est est donné en exemple en Figure 4-3.

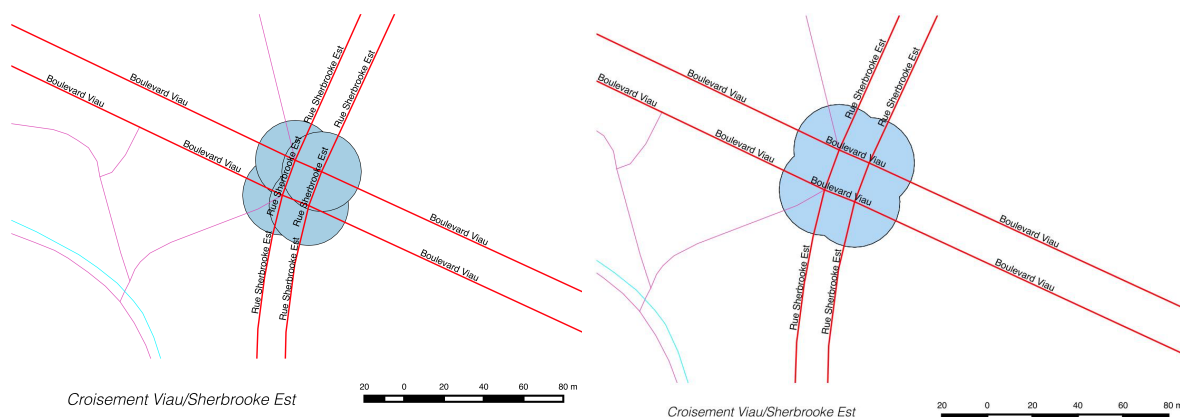


Figure 4-3 Exemple d'un carrefour complexe : Viau/Sherbrooke Est

Un carrefour simple sera donc un carrefour comprenant un seul nœud et ne comportant aucun autre carrefour à moins de 20 m. Elle est représentée par un disque de 20 m de rayon et par une aire de 197 m^2 . Les carrefours complexes seront ceux qui regroupent plusieurs carrefours à moins de 20 m l'un de l'autre. Dans certains cas, des carrefours distincts sont situés à moins de 40m de distance. Ils seront alors fusionnés sans distinction des carrefours complexes. Cela constitue une limite de la construction du réseau des carrefours.

Après cette opération, le réseau CMM contient 57 165 carrefours.

4.2.4 Projection des carrefours

L'île de Montréal contient 17 172 carrefours tels que définis précédemment. Un des problèmes rencontrés dans l'étude est la projection en deux dimensions du réseau routier. En effet, celle-ci implique que les tunnels et les ponts ne soient pas pris en compte. Ainsi certains carrefours vont croiser des routes qui ne sont pas inclus dans ceux-ci à cause de tunnels ou de ponts. Ceci est particulièrement valable pour les autoroutes. Comme celles-ci sont séparées du reste du réseau routier, les carrefours avec les autoroutes ne sont pas pris en compte. Dans la Figure 4-4, on observe que des carrefours du boulevard Crémazie entrecroisent l'autoroute. Cela signifie que tous les véhicules circulant sur l'autoroute vont être comptés dans les débits des carrefours (paragraphe 4.4).

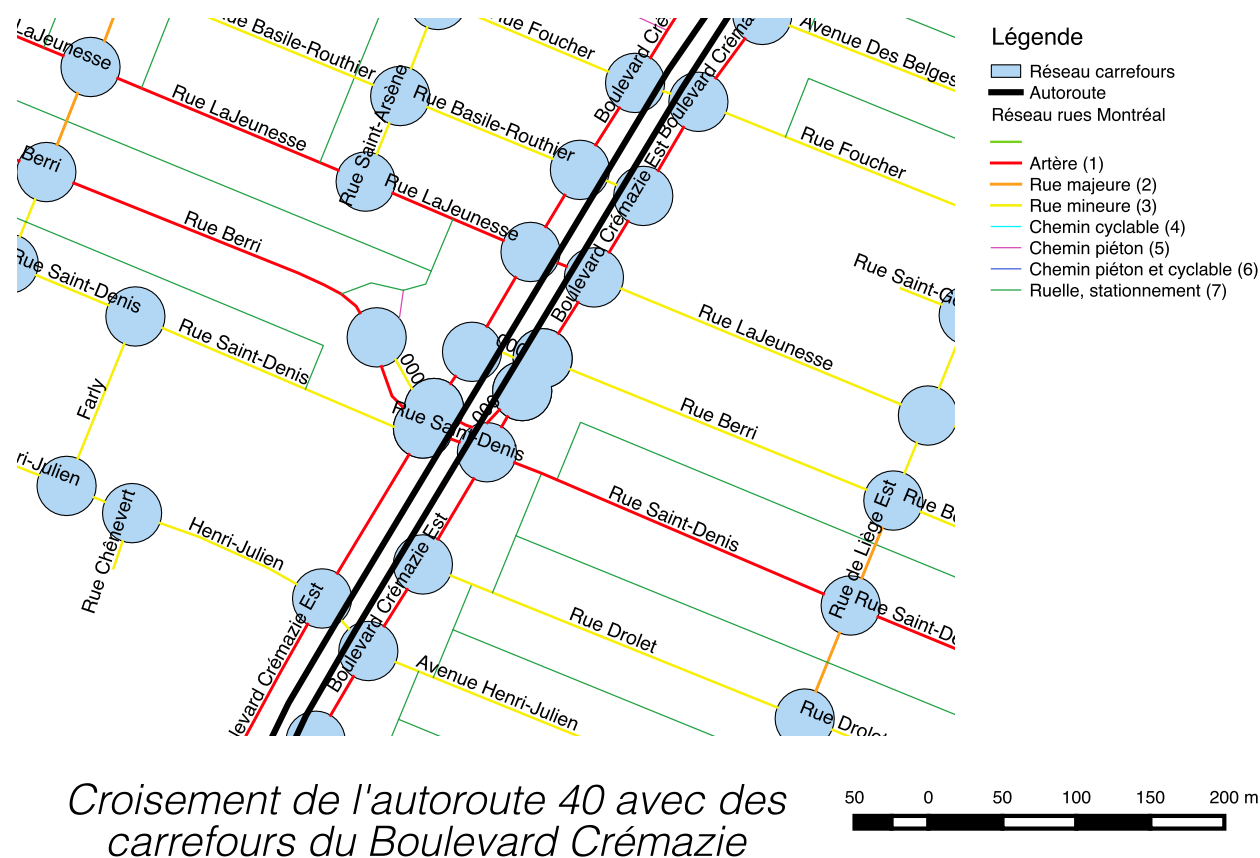


Figure 4-4 Carrefours avec autoroutes

Afin d'éviter ces cas, tous les carrefours entrecoupant une autoroute ne seront pas pris en compte. En effet, l'attribution des flux se fait par proximité géométrique et il est difficile de séparer les débits (sous forme de traces sur le réseau) provenant des branches du carrefour avec ceux des autoroutes. Sur l'île de Montréal cela correspond à 471 carrefours sur 17 172, soit 2,7%.

4.3 Traitement des liens routiers

Le réseau CMM contient 183 841 liens classés en catégorie de 1 à 7, qui ont déjà été décrites dans le Tableau 4-1. Mais ces liens sont découpés entre chaque carrefour du réseau et non pas entre chaque carrefour comme défini au paragraphe 4.2.2. De plus, certains liens sont entièrement inclus dans un carrefour comme on l'a vu en Figure 4-3. Ces liens sont supprimés.

4.3.1 Découpage des liens

D'abord, les liens sont découpés au niveau des carrefours. Les liens de catégorie 1 à 3 de moins de 40 m sont supprimés car ils se situent entre deux carrefours et sont entièrement inclus dans le carrefour fusionné. Les autres liens sont amputés de leur partie contenue dans le carrefour. Cette opération est réalisée en faisant une différence avec QGIS. L'exemple du croisement entre le Boulevard Viau et la rue Sherbrooke Est est donné en Figure 4-5.

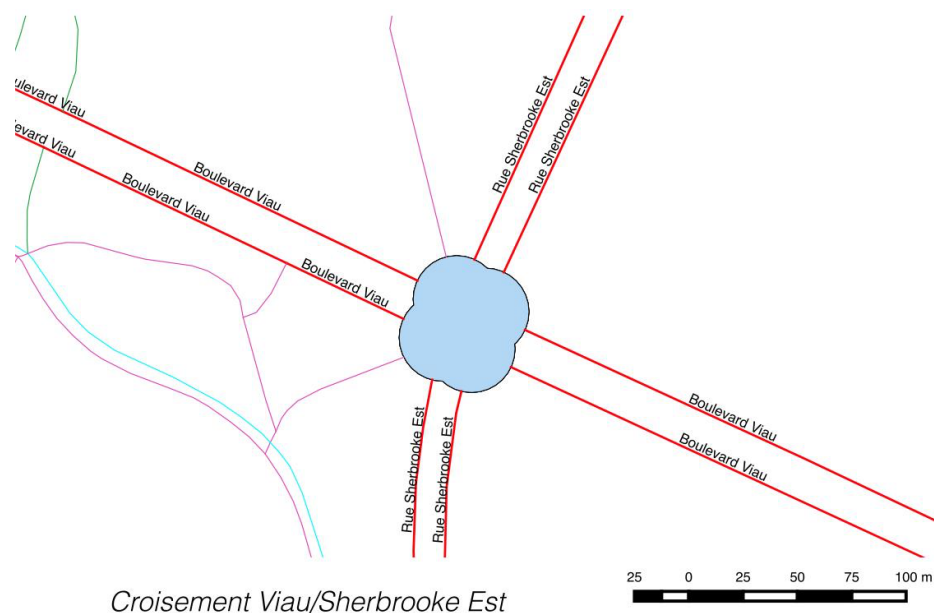


Figure 4-5 Exemple d'un carrefour après traitement des liens

4.3.2 Fusion des liens

Certains tronçons de rues sont découpés en plusieurs liens car il est possible que le tronçon contienne des croisements avec des liens de catégorie 4 à 7 mais pas de carrefours tel que définis précédemment. Comme on le voit en Figure 4-6 la rue Garnier est divisée en quatre liens entre l'avenue du Mont-Royal et la rue Marie-Anne Est, vu qu'il y a trois croisements avec des ruelles.

On effectue alors la fusion des liens de catégorie 1 à 3 se touchant. Les attributs des liens initiaux sont soit additionnés (longueur), soit la valeur minimale des liens initiaux est conservée (id, nom, catégorie).

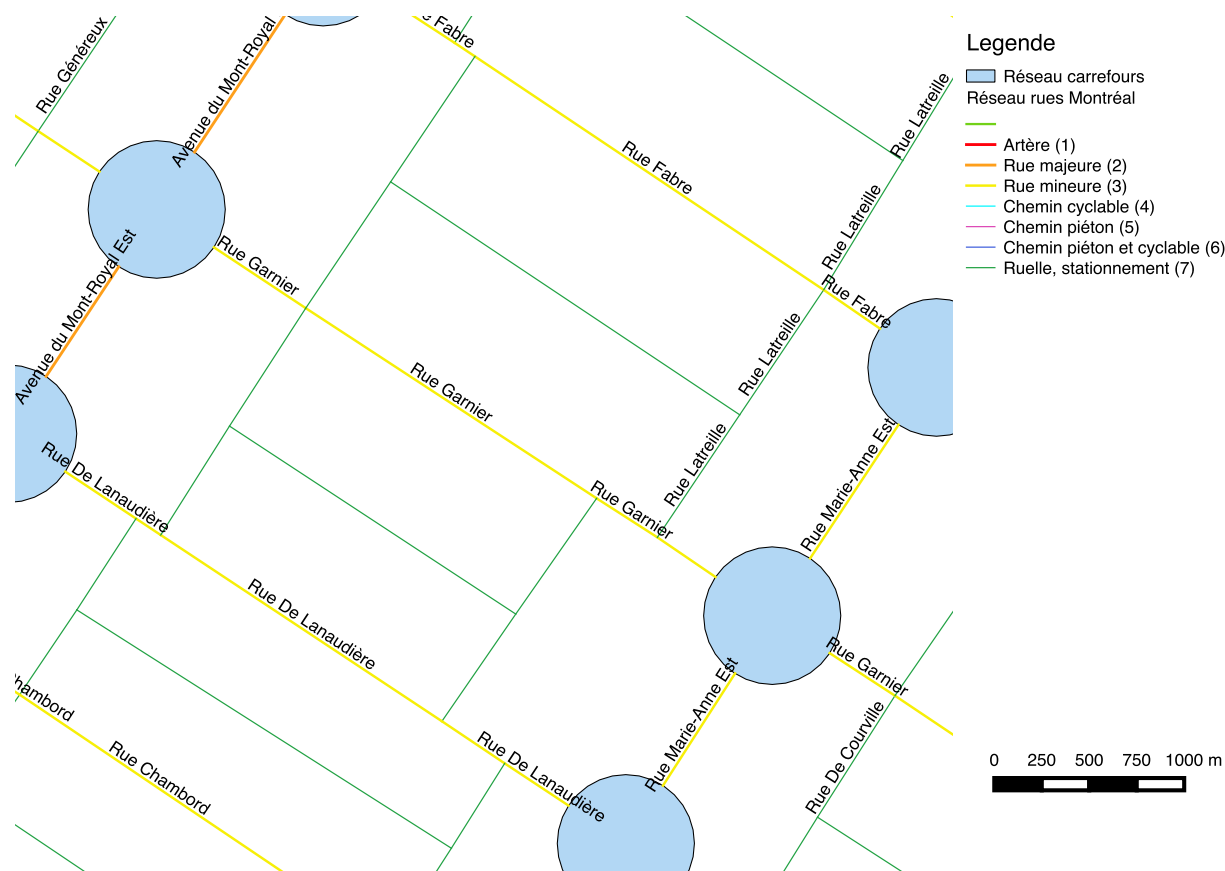


Figure 4-6 Tronçon de la rue Garnier découpé en plusieurs liens en raison de croisement avec des ruelles (en vert)

4.3.3 Gestion des terre-pleins centraux

Une rue est représentée par des doubles liens parallèles lorsqu'elle contient un terre-plein central permettant de séparer les deux voies de circulation. Un même tronçon de rue sera représenté par deux liens. Ces liens ont été identifiés grâce à leur géométrie particulière (deux liens parallèles) puis regroupés lorsqu'ils représentent le même tronçon de rue. Ils représentent 5,3% de l'ensemble des liens de l'île de Montréal et 4,2% du kilométrage total du réseau. Les rues avec terre-plein représentent 25,8% du kilométrage total du réseau artériel. Toujours sur le réseau artériel, la moyenne des débits quotidiens de voitures est de 12 550 pour les rues sans terre-plein et 17 715 pour les rues avec terre-plein. Ces liens ont été supprimés de l'analyse des victimes et du partage de la rue car ils introduisent une erreur dans la mesure de la largeur de la chaussée (voir 4.4.3 page 37). Cela constitue une limite de l'étude, les rues avec terre-plein devant faire l'objet d'un traitement spécifique et d'une correction des largeurs de chaussée. Comme ces rues

présentent un débit motorisé plus élevé que le reste des rues, cela introduit un biais dans la distribution des débits, les rues avec le plus de voitures étant exclues de l'analyse.

4.4 Largeur des rues et des trottoirs

4.4.1 Données sources

La largeur des rues et des trottoirs est déterminée à partir d'un fichier géomatique de l'île de Montréal, appelé couche de base, comme vu au paragraphe 3.5. Il date de 2003 et a été révisé en 2006. Le niveau de précision n'est pas connu, ce qui constitue une limite de l'étude. Les fichiers sont constitués de lignes. Deux types de lignes sont utiles pour la détermination des largeurs : celles séparant la rue du trottoir et celles séparant le trottoir de l'environnement bâti privé (maisons, condos...) et public (parcs, lieux de cultes...) du trottoir. Ces lignes sont de couleurs rouge et bleu foncé sur la Figure 4-7. On observe que la ligne bleue foncée, qui représente la séparation entre les bâtiments et le trottoir, n'est pas toujours présente et continue. Ce type de ligne est utilisé pour tester la présence de trottoir. Si elle n'est jamais présente sur le tronçon de rue alors l'algorithme détermine que le trottoir est absent.

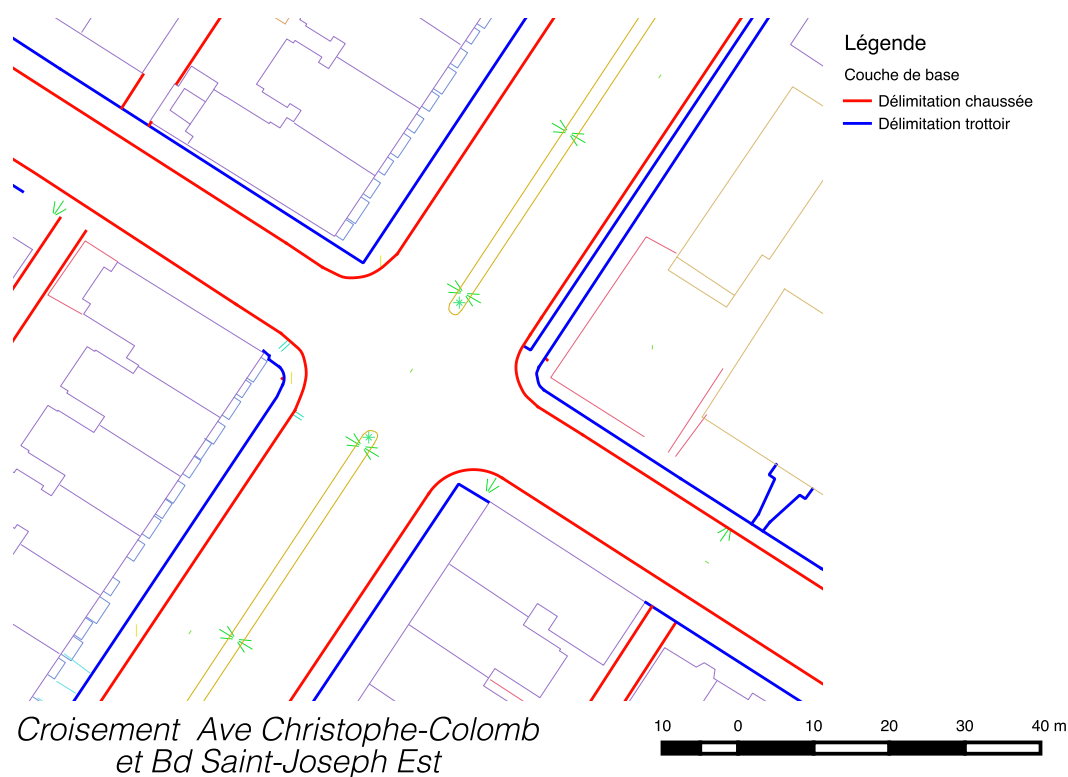


Figure 4-7 Croisement Christophe-Colomb/Saint-Joseph

La mesure de la largeur de chaussée se fait en mesurant la distance entre les lignes séparant la chaussée du trottoir de chaque côté de la rue. La mesure de la largeur du trottoir se fait en mesurant la distance entre la ligne de séparation chaussée/trottoir et la ligne de séparation trottoir/bâtiments des deux côtés de la rue puis en moyennant le résultat sur toute la longueur du lien routier.

4.4.2 Description des données

L'algorithme ne marche pas pour toutes les rues : certaines n'ont pas de largeur de trottoir ou pas de largeur de chaussée. 3 044 liens sur 30 011 n'ont pas de largeur de chaussée, soit 10,1%. Cela constitue une limite de l'étude. Les critères de l'algorithme pour calculer la largeur de la chaussée et du trottoir ont été fixés afin d'avoir une validité des résultats la plus élevée possible, et donc d'exclure une partie non négligeable de tronçons de rue qui ne les vérifiait pas. Il sera possible de changer les critères de l'algorithme afin de réduire le nombre de rues sans largeurs de chaussée et de trottoir calculées.

Les données statistiques sont dans le Tableau 4-2. L'histogramme de la répartition des largeurs est en Figure 4-8. On observe une série de pics dont le plus élevé est à 9 m. Ces pics représentent une standardisation dans la conception des routes de Montréal. Celles-ci dépendent du nombre de voies, la présence de voies de stationnement mais aussi de la catégorie de rue.

Tableau 4-2 Statistique de la largeur des chaussées

Largeur des chaussées (m)						
Minimum	1er quartile	Médiane	Moyenne	3eme quartile	Maximum	Écart-type
3,05	8,96	10,14	10,33	12,04	23,83	2,58

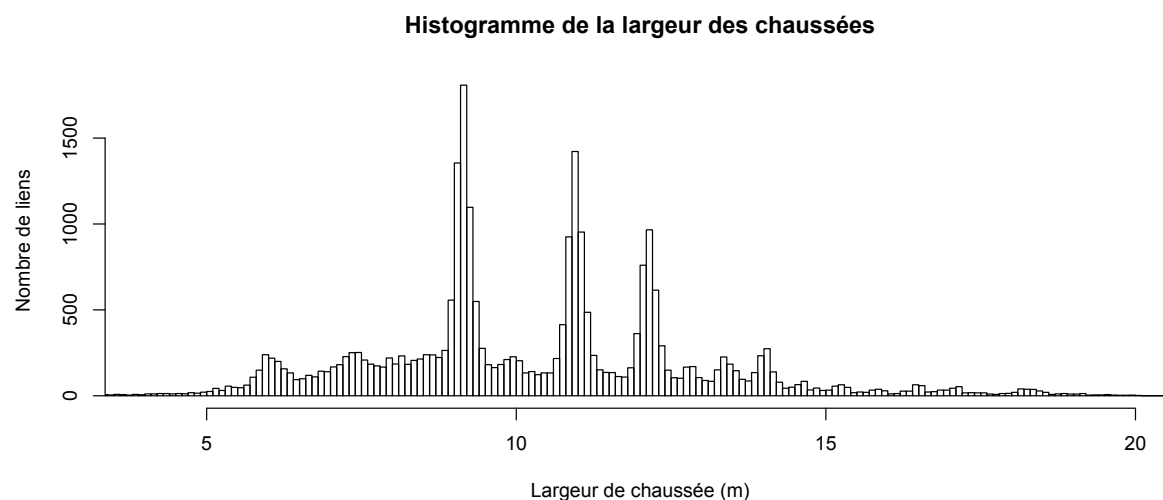


Figure 4-8 Histogramme de la largeur des chaussées

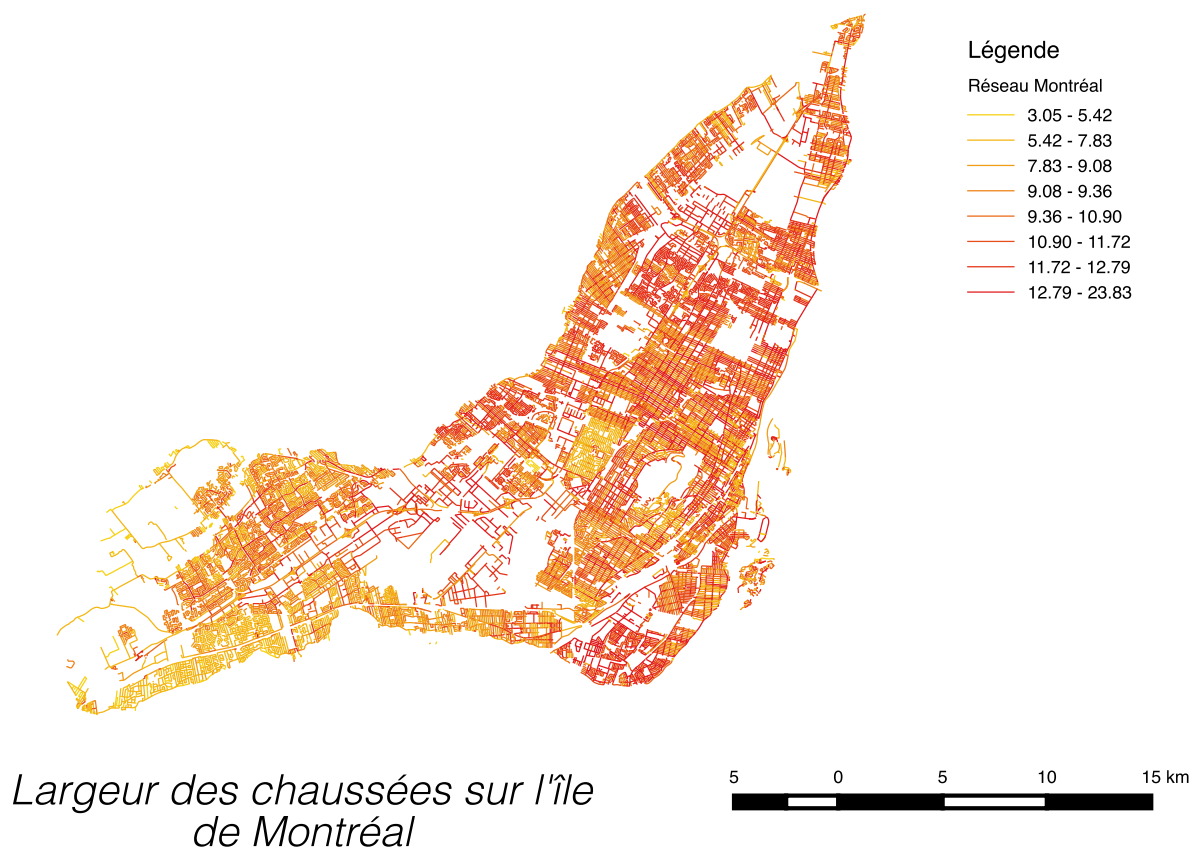


Figure 4-9 Carte des largeurs de chaussées sur l'île de Montréal

Sur la figure ci-dessus, on observe que certains quartiers ont en moyenne des chaussées plus ou moins larges. Cependant il y a de fortes différences inter-quartier. On observe un réseau de rues plus larges entourées de rues moins larges. La conception du réseau a donc été faite avec des collectrices, c'est à dire des rues plus larges chargées d'accueillir le trafic.

Pour les trottoirs, l'algorithme est capable de déterminer s'il y a présence de trottoirs ou non. La carte des résultats est donnée en Figure 4-10. On observe que c'est surtout dans les quartiers ouest que les rues sans trottoirs se concentrent, ainsi que dans les quartiers Est dans une moindre mesure.

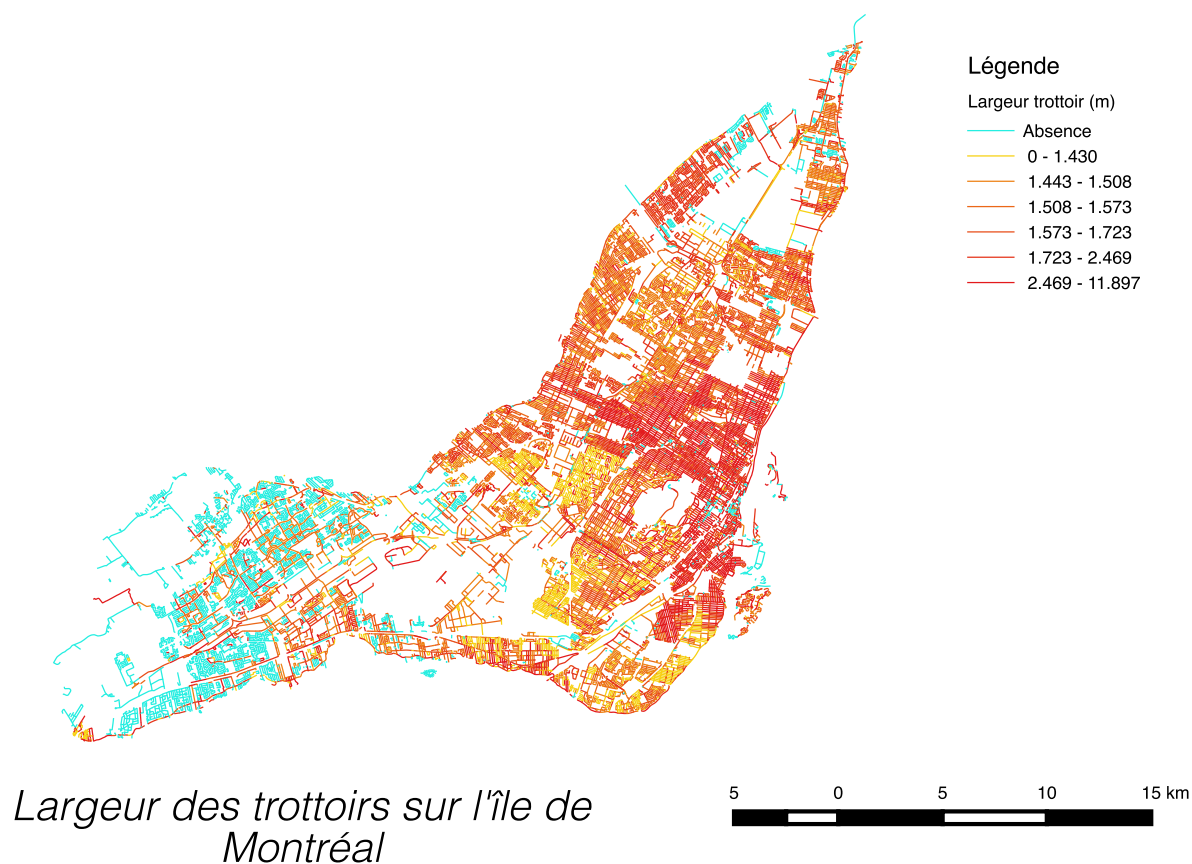


Figure 4-10 Carte de la largeur des trottoirs sur l'île de Montréal

Les statistiques des largeurs de trottoirs de largeur non nulle sont présentées dans le Tableau 4-3. La distribution des largeurs de trottoir en Figure 4-11 se caractérise par une distribution qui semble normale autour de 1,6 m et par une queue au-delà de 2 m.

Tableau 4-3 Statistiques de la largeur des trottoirs

Largeur des trottoirs (m)						
Minimum	1er quartile	Médiane	Moyenne	3ème quartile	Maximum	Écart-type
0,76	1,48	1,57	1,93	1,92	11,9	1,12

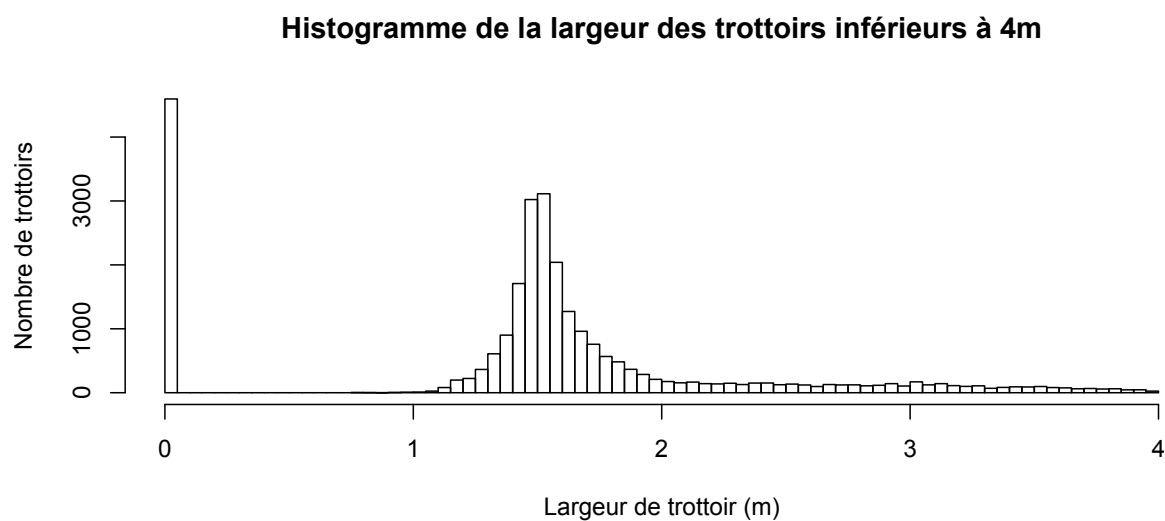


Figure 4-11 Distribution fréquentielle de la largeur des trottoirs

On observe sur la carte des largeurs de trottoirs de la Figure 4-10 que la largeur diminue plus on s'éloigne des quartiers centraux. Contrairement à la largeur des chaussées il n'y a pas de différence inter quartier, mais des différences entre les quartiers.

4.4.3 Validation avec fichier largeur de chaussée

Un autre ensemble de données permet de valider ces estimations automatisées de largeur de rue. En effet, Morency et al (2015) ont effectué une étude sur 512 carrefours à Montréal. La carte de ceux-ci est en Figure 4-12.

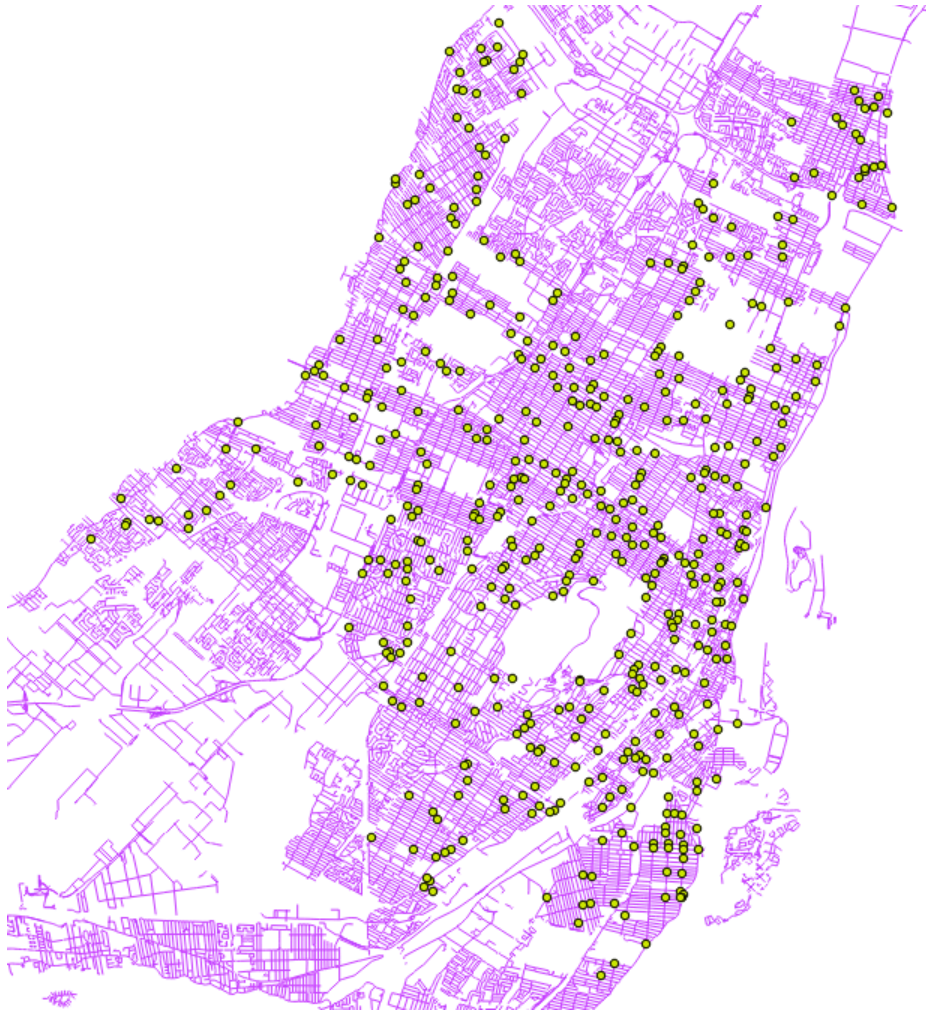


Figure 4-12 Carte des carrefours de l'étude de Morency et al. (2015)

Plusieurs équipes ont relevé la largeur de la traversée piétonne et de la chaussée en amont sur chaque approche du carrefour, selon la position relative de l'approche par rapport au carrefour (nord, sud, est, ouest). Un algorithme permet de faire correspondre la rue du fichier de mesures physiques des carrefours à notre base de données en fonction de l'orientation entre le centre du carrefour et l'extrémité du segment. Le principe est illustré en Figure 4-13.

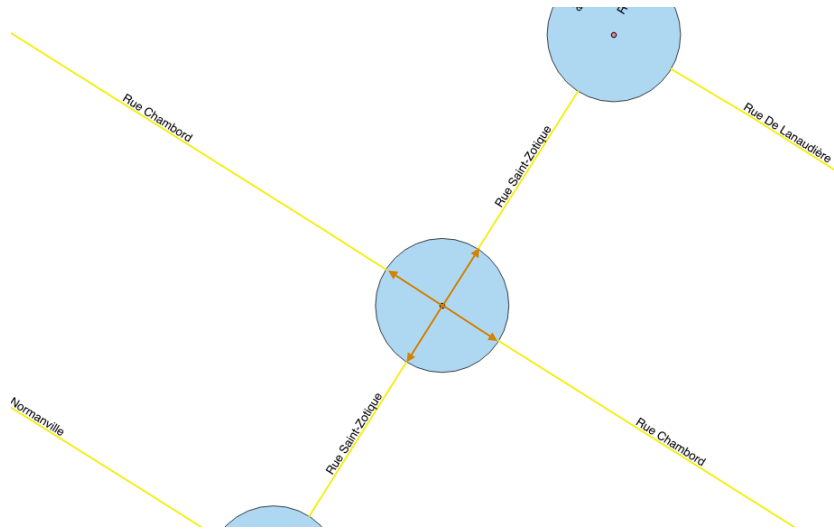


Figure 4-13 Vecteurs du centre du carrefour au début des liens au croisement entre la rue Chambord et la rue Saint-Zotique

L'azimut du vecteur entre le centre du carrefour et les extrémités des liens est mesuré (la flèche sur la figure ci-dessus). Il est comparé à des valeurs types pour déterminer à quels liens correspondent les quatre directions. Pour cela il a fallu déterminer quel était l'azimut de la direction nord à Montréal. La référence fut prise pour le Boulevard St-Laurent dans les quartiers centraux. L'azimut de cette rue est 303° . Les valeurs prévues sont alors :

- Direction nord : entre 255° et 345°
- Direction est : entre 345° et 360° et entre 0° et 75°
- Direction sud : entre 75° et 165°
- Direction ouest : entre 165° et 255°

Sur la Figure 4-14, un point correspond à une rue. On a des différences pour un peu plus de 1200 rues. On observe que les données sont concentrées autour de zéro, avec la majorité des différences comprises entre -1 et 1 m. Mais on observe qu'il y a quelques rues avec des différences importantes.

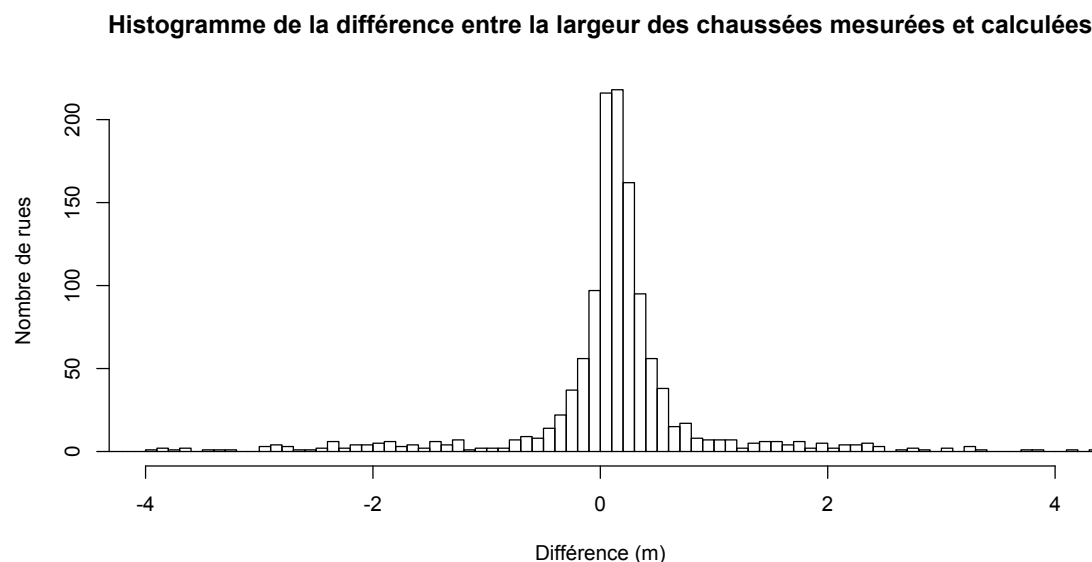


Figure 4-14 Histogramme de la différence

La médiane des différences en valeur absolue est à 22 cm et la moyenne est à 71 cm. Cette forte différence entre médiane et moyenne s'explique par la présence de grandes valeurs. Celles-ci sont dues, en excluant les erreurs des données sources, aux éléments suivants :

- Une erreur de couplage entre la valeur calculée et la valeur mesurée. Dans certains quartiers, l'orientation des rues est différente des quartiers centraux et l'algorithme échoue à comparer les bonnes rues.
- Une différence entre la valeur moyenne au carrefour et la valeur au bout de la rue lorsque la rue change de largeur.
- La présence de séparateurs altère la qualité de la mesure. En effet, certaines lignes de séparateurs ont les mêmes caractéristiques que la ligne de séparation entre le trottoir et la rue. La situation est illustrée en Figure 4-15. Dans celle-ci, les lignes de séparation entre chaussée et trottoir sont en rouge et celles de séparation entre le trottoir et le bâti est en bleu. On observe une ligne rouge au niveau du séparateur de la rue St-Joseph. La base de données étant biaisée par cette situation, l'algorithme ne fait pas la différence entre la ligne de séparation entre le trottoir et la chaussée et la ligne de séparation entre la chaussée et un séparateur de voies. Cela mène à une sous-estimation de la largeur des rues

avec séparateur. Pour cette raison, les liens avec présence de séparateurs ne seront plus pris en compte dans le reste de l'étude (voir paragraphe 4.3.3 pour discussion)

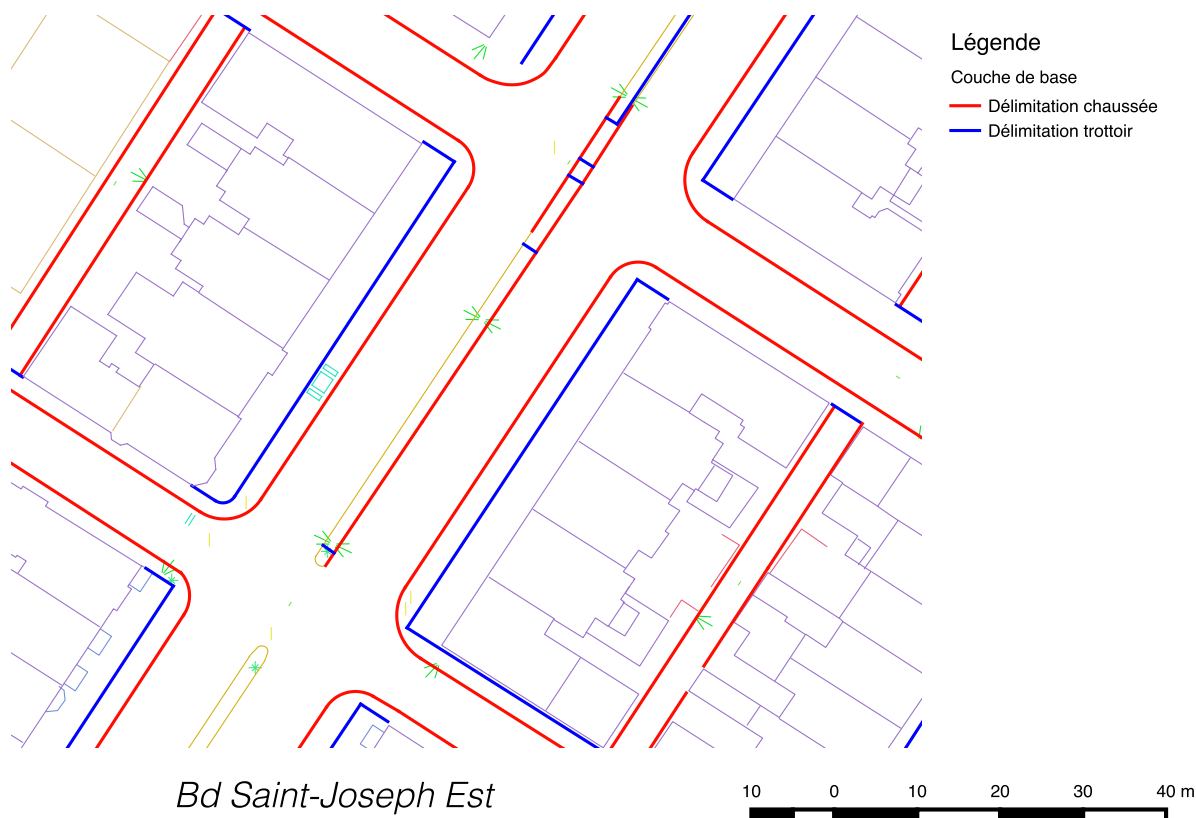


Figure 4-15 Fichier couche de base de l'avenue St-Joseph entre la rue Saint-André et la rue de Mentana. La présence d'une ligne de délimitation de chaussée au centre conduit à une largeur de chaussée mal estimée

Sur l'échantillon mesuré, le premier décile de la différence est à -40 cm et le dernier à 78 cm.

4.5 Débits des piétons, cyclistes et automobilistes sur le réseau

4.5.1 Méthode

On estime le flux quotidien plausible d'un sous-ensemble des usagers du réseau de transport (les résidents d'un territoire) en affectant les déplacements de l'enquête OD. On utilise pour cela le calculateur de chemin de la Chaire Mobilité de l'École Polytechnique. Celui-ci affecte les déplacements avec l'hypothèse du chemin le plus court en utilisant les vitesses affichées ou estimées avec des traces GPS (lorsque disponible) et en attribuant des pénalités temporelles de virage à un carrefour et de traversée de carrefours à feu. Les valeurs de ces pénalités ne sont pas connues car elles ont été déterminées par le concepteur du calculateur de chemin. Cependant, il est possible de les modifier et d'évaluer leur impact sur l'affectation des déplacements, qui pourra faire l'objet de recherches ultérieures. Cela permet de dresser un portrait des déplacements des résidents du territoire d'enquête pour une journée moyenne d'automne. Quatre débits ont été calculés : le flux quotidien des piétons, des cyclistes, des voitures et des occupants de véhicules (conducteurs et passagers). On estime les débits en nombre d'usagers par jour (piétons par jour, cyclistes par jour, occupants de véhicule par jour) ou en nombre de véhicules par jour (voitures par jour). Cette période de temps (journée) a été choisie pour ne pas prendre en compte la variabilité quotidienne des débits. Mais cette information est disponible et pourra être valorisée dans des études futures. Les débits de voitures estimés ne représentent pas l'ensemble des usagers des réseaux de transport; par exemple, ils ne prennent pas compte des véhicules lourds ou des déplacements commerciaux. Cela conduit à une sous-estimation des débits sur le réseau routier, ce qui constitue une limite de l'étude. De plus, les débits calculés ne prennent pas en compte la variabilité saisonnière des débits, ce qui constitue aussi une limite de l'étude. L'affectation des paires Origine-Destination n'a pas vocation à donner une description précise des débits sur le réseau dans notre étude, mais à estimer un portrait global de l'utilisation relative du réseau routier urbain (estimé de l'intensité d'utilisation du réseau).

4.5.2 Description des données

4.5.2.1 Carrefours

Le fichier carrefours contient 16 701 carrefours. La description des données est présentée au Tableau 4-4.

Tableau 4-4 Description des débits quotidiens de véhicules ou d'usagers pour les carrefours de Montréal

	Débits			
	Mode	Débits (usagers/véhicules par jour)	Nombre de carrefours	Pourcentage
Carrefours	Voitures	200-	4 995	29,9%
		201 - 1 000	5 428	32,5%
		1 001 - 5 000	3 177	19,0%
		5 001 - 20 000	2 364	14,2%
		20 001 - 105 068	737	4,4%
		Somme	16 701	100,0%
	Occupants de voiture	200-	4 187	25,1%
		201 - 1 000	5 494	32,9%
		1 001 - 5 000	3 474	20,8%
		5 001 - 20 000	2 527	15,1%
		20 001 - 127 882	1 019	6,1%
		Somme	16 701	100,0%
	Cyclistes	25-	8 434	50,5%
		26 - 100	3 285	19,7%
		101 - 400	3 397	20,3%
		401 - 1 000	1 146	6,9%
		1 001 - 4 089	439	2,6%
		Somme	16 701	100,0%
	Piétons	50-	6 649	39,8%
		51 - 200	3 970	23,8%
		201 - 500	3 243	19,4%
		501 - 2 000	2 582	15,5%
		2 001 - 5 756	257	1,5%
		Somme	16 701	100,0%

On observe que les classes les plus faibles sont majoritaires pour les vélos et les piétons. De nombreux carrefours sont caractérisés par un débit piéton et vélo égal à zéro. Comme on le voit dans le Tableau 4-5.

Tableau 4-5 Nombre de carrefours présentant des débits nuls

Carrefours	<i>Mode</i>	<i>Nombre de flux égal à zéro</i>	<i>Pourcentage du total</i>
	Voitures	1 397	8,4%
	Passagers	1 320	7,9%
	Cyclistes	7 838	46,9%
	Piétons	5 252	31,4%

La présence de débits nuls aux carrefours, situés en général dans les quartiers peu denses de Montréal, peut s'expliquer d'une part par l'hypothèse que les déplacements empruntent le plus court chemin et d'autre part par le fait que l'enquête est effectuée à la période d'automne et que lors de ces mois, la pratique des modes actifs, notamment du vélo, diminue grandement en raison de la température (approche de l'hiver). Ces débits nuls poseront un problème pour le calcul du risque, défini par le nombre de blessés divisé par les débits quotidiens. C'est surtout le cas pour les vélos où 47% des carrefours ont un débit nul.

4.5.2.2 Liens routiers

De même, les données des expositions des 31 667 liens sont présentées dans le Tableau 4-6

Tableau 4-6 Description des débits quotidiens de véhicules ou d'usagers pour les tronçons de rue

Tronçons de rue	Exposition			
	Mode	Flux (usagers/véhicules par jour)	Nombre de liens	Pourcentage
	Voitures	100-	11 924	37,7%
		101 - 500	9 881	31,2%
		501 - 2 000	4 327	13,7%
		2 001 - 10 000	3 615	11,4%
		10 001 - 77 051	1 920	6,1%
		Somme	31 667	100,0%
	Occupants de voiture	100-	10 626	33,6%
		101 - 500	9 705	30,6%
		501 - 2 000	5 232	16,5%
		2 001 - 10 000	3 769	11,9%
		10 001 - 94 280	2 335	7,4%
		Somme	31 667	100,0%
	Cyclistes	20-	20 110	63,5%
		21 - 100	5 631	17,8%
		101 - 500	4 774	15,1%
		501 - 1 000	798	2,5%
		1 001 - 4 089	354	1,1%
		Somme	31 667	100,0%
	Piétons	50-	17 097	54,0%
		51 - 200	7 217	22,8%
		201 - 500	4 687	28,1%
		501 - 1 000	1 879	11,3%
		1 000 - 4 857	787	4,7%
		Somme	31 667	100,0%

Plusieurs liens ont un flux nul, comme pour les carrefours. Le nombre de valeurs nulles est donné dans le Tableau 4-7.

Tableau 4-7 Nombre de liens avec un flux nul

Tronçons	Mode	Nombre de flux égal à zéro	Pourcentage du total
	Voitures	6 712	21,2%
	Passagers	6 466	20,4%
	Cyclistes	19 462	61,5%
	Piétons	14 340	45,3%

4.6 Résumés des opérations des réseaux liens et carrefours

Les Figure 4-16 et Figure 4-17 résument l'ensemble des opérations spatiales effectuées sur les réseaux.

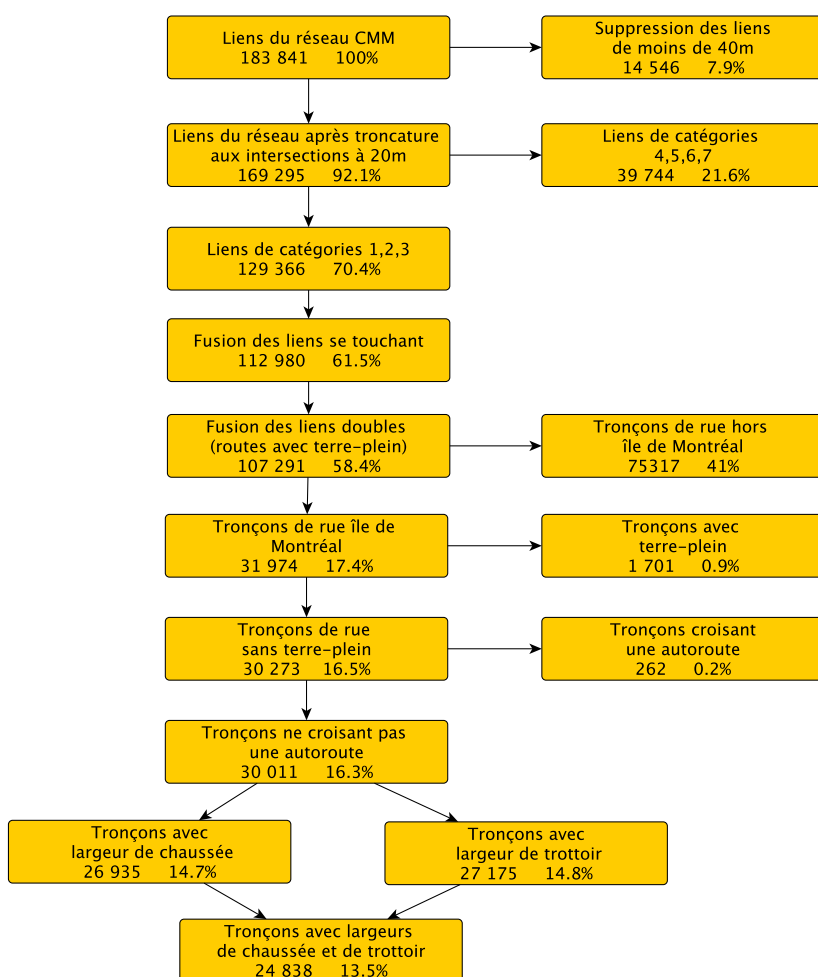


Figure 4-16 Résumé des opérations sur les liens

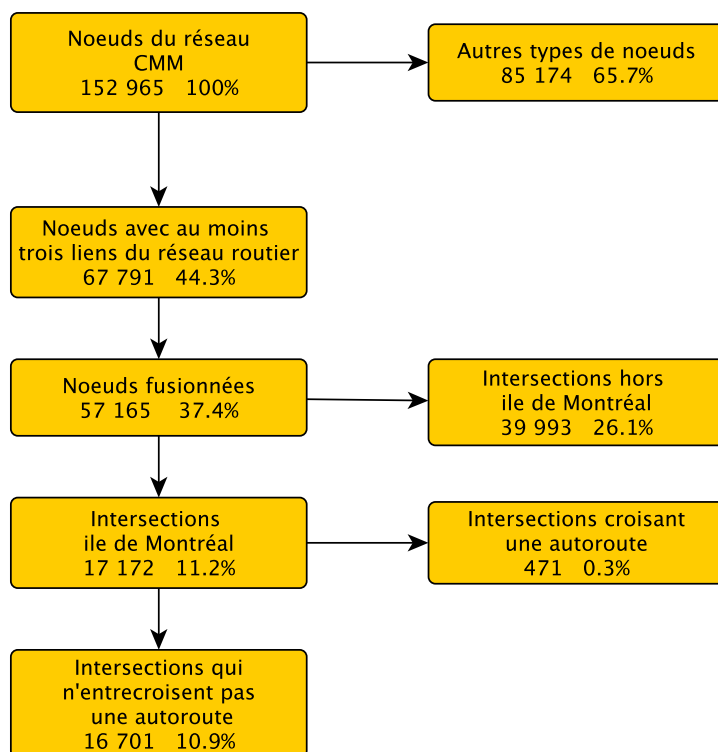


Figure 4-17 Résumé des opérations pour les carrefours

4.7 Attribution des victimes sur les réseaux

Les données des victimes de la route ont été géolocalisées par la Direction de la Santé Publique. Cela va permettre de les attribuer sur les réseaux.

4.7.1 Autoroutes et localisation

Comme vu précédemment (paragraphe 3.3) les victimes sur le réseau autoroutier ne sont pas prises en compte. Ces données ne sont de plus pas localisées sur le jeu de données fourni par la Direction de la Santé Publique.

Concernant les victimes hors-autoroutes, une partie a pu être localisée en utilisant l'adresse ou le carrefour indiqué par le policier sur le constat d'accident. Les autres n'ont pas pu être localisées en raison des indications incomplètes du policier en charge du constat d'accident ou des

performances insuffisantes de l'algorithme de localisation. Parmi les victimes hors-autoroutes, 84,6% sont localisées mais ce chiffre dépend de la localisation. Il est plus élevé à Montréal (91,2%) qu'en banlieue (78,3% en dehors de Montréal en moyenne) et diminue plus on s'éloigne de Montréal. Le fait de compenser cette différence par un coefficient pondérateur (1 divisé par la proportion des victimes localisées) appliqué à toutes les victimes n'a pas été retenu car cela aurait pu introduire un biais de mesure, puisque l'impact de cette mesure n'est pas connu. En effet les victimes non localisées sont en général sur des routes dont l'emplacement exact est difficile à déterminer (hors-ville). Les victimes non-localisées ne seront ainsi plus prises en compte.

4.7.2 Date

La base de données est très précise quant à la date de l'accident; l'heure et la date sont présentes dans tous les cas. Nous séparons les accidents ayant eu lieu en semaine (73,9%) de ceux de fin de semaine (26,1%). En effet les débits seront calculés à l'aide de l'enquête origine destination 2008 qui est représentative d'un jour moyen de semaine d'automne. Les accidents se déroulant en fin de semaine ne seront plus pris en compte dans le reste de l'étude.

4.7.3 Année

Les données des victimes couvrent une période de 10 ans, de 2003 à 2012. On observe une baisse globale des victimes de la route entre ces deux années. Cette durée a été choisie pour avoir un nombre suffisant de victimes à attribuer sur le réseau (voir discussion au paragraphe 3.3). On ne tient pas compte de l'évolution du réseau pendant cette période, les victimes sont attribuées sur le réseau de 2014. Ceci constitue une limite de l'étude.

4.7.4 Catégorie de la victime et véhicule de la victime

On ne prend en compte que les victimes pour trois modes de transport : piétons, cyclistes, occupants de voitures. Cette catégorisation provient du rapport policier d'accident.

Le nombre de victimes localisées ayant eu lieu en semaine entre 2003 et 2012 pour les trois modes de transport est donné dans le Tableau 4-8. .

Tableau 4-8 Victimes selon le mode de transport

Mode de transport	Blessés légers	Blessés graves	Décès	Total	Pourcentage du total
<i>Automobile</i>	63 687	1 913	227	65 827	72,9%
<i>Vélo</i>	8 809	438	43	9 290	10,3%
<i>Marche à pied</i>	13 539	1 399	201	15 139	16,8%
Total	86 035	3 750	471	90 256	100,0%

Seules ces victimes seront prises en compte pour le reste de l'étude.

4.7.5 Carrefour

Les accidents avec victimes se produisent soit au niveau d'un carrefour tel que défini dans la partie précédente ou au niveau d'un segment. Les victimes qui sont comprises dans la surface d'un carrefour sont d'abord attribuées à celui-ci. Le reste des victimes est attribué au segment routier le plus proche dans une limite de 20 m. Certaines victimes ne sont ainsi pas attribuées à un lien ou un carrefour car l'accident a eu lieu à un endroit en dehors de la zone d'étude. C'est par exemple le cas de toutes les victimes blessées sur un chemin piéton, un stationnement, une ruelle ou encore un chemin privé.

Si l'on prend en compte toutes les victimes, 75,8% de celles-ci ont été blessées au niveau d'un carrefour et 23,3% a au niveau d'un lien routier de catégorie 1 à 3. Les 0,9% de victimes non attribuées ont été blessées sur un lien de catégorie 4 à 7

En prenant en compte les accidents localisés survenus en semaine pour les trois modes de transport étudiés, on obtient les chiffres dans le Tableau 4-9.

Tableau 4-9 Répartition du nombre de victimes entre les carrefours et les liens

Mode de transport de la victime	Carrefours		Liens		Non attribuées	
Occupants de voiture	48 828	74,18%	16 283	24,74%	716	1,09%
Cyclistes	7 517	80,91%	1 739	18,72%	34	0,37%
Piétons	12 068	79,71%	3 005	19,85%	66	0,44%
Total	68 413		21 027		816	
Total (pourcentage)	75,8%		23,3%		0,9%	

Ainsi, les trois quarts des victimes ont été blessées à un carrefour et moins de 1% n'ont pas été attribuées au réseau routier.

4.7.6 État de la victime

Les rapports policiers contiennent trois catégories de victimes : blessé léger, blessé grave et décès. Cependant les catégories ont évolué au cours du temps. Comme on observe en Figure 4-18, la part des blessés graves dans les blessés totaux dans la CMM a chuté entre 2006 et 2008.

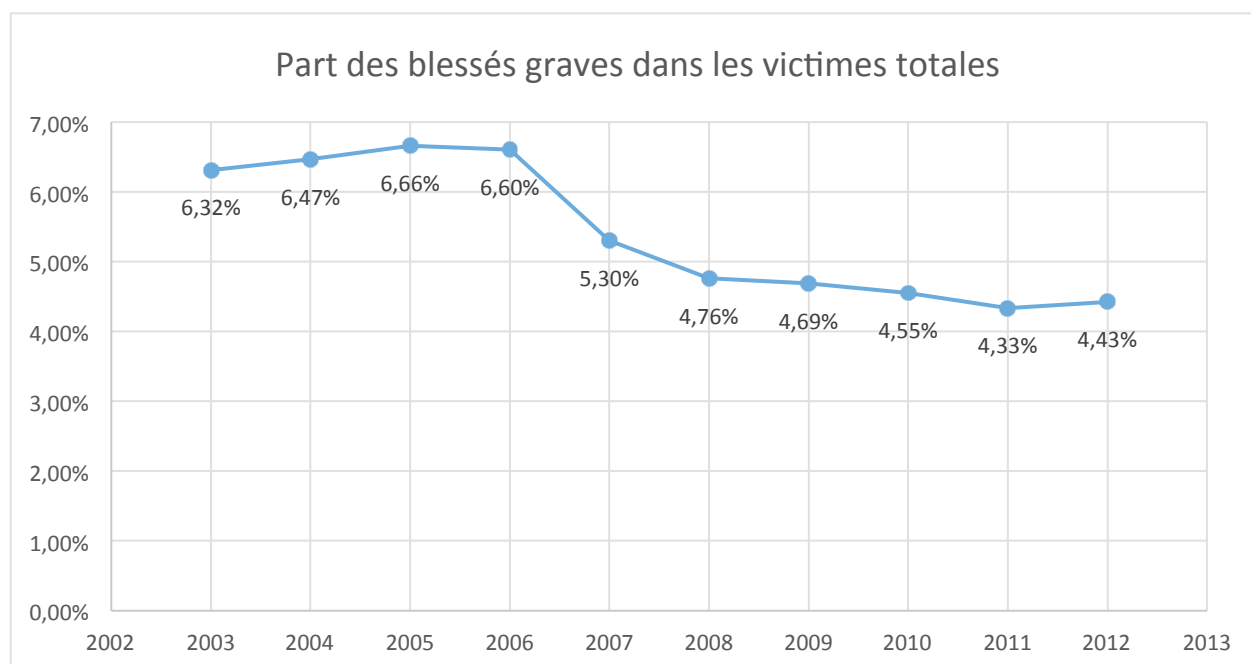


Figure 4-18 Pourcentage des blessés graves dans l'ensemble des victimes

On observe que la part des blessés graves diminue subitement au cours de l'année 2007 pour passer de 6,60% en 2006 à environ 4,5% dans les années après 2008. La raison de ce changement n'est pas connue mais serait liée à un changement dans le mode de catégorisation effectué par les policiers entre blessés graves et blessés légers en 2007 (non confirmé).

CHAPITRE 5 ANALYSES DES VICTIMES

L'objectif de ce chapitre est de produire des modèles descriptifs du nombre de victimes. Une analyse descriptive des variables pertinentes pour le développement des modèles est aussi proposée.

5.1 Variables

5.1.1 Nombre de victimes

La variable dépendante des modèles est le nombre de victimes. Typiquement, on considère le nombre de victimes comme une variable aléatoire qui dépend de facteurs explicatifs.

Les variables utilisées pour développer les modèles sont les mêmes pour les carrefours et les liens; ce sont:

- Cvodgl : Nombre de blessés (décès, graves et légers) des occupants de véhicules à moteur
- Cvomj : Nombre de blessés majeurs (décès et grave) des occupants de véhicules à moteur
- Piedgl : Nombre de blessés (décès, graves, légers) piétons
- Piemj : Nombre de blessés majeurs (décès, graves) piétons
- Cycdgl : Nombre de blessés (décès, graves, légers) cyclistes
- Cymj : Nombre de blessés majeurs (décès, graves) cyclistes

Ces variables sont comptabilisées sur les liens et les carrefours.

5.1.2 Description pour les carrefours

Dans le Tableau 5-1 on a la description des six variables dépendantes des blessés pour les carrefours, regroupées en classes de valeur. Comme l'étendue des valeurs est différente pour chaque variable, les classes sont différentes pour chacune d'entre elles.

Tableau 5-1 Descriptions des variables dépendantes liées aux blessés pour les carrefours

Carrefours	Variable	Moyenne	Médiane	Écart type	Nombre de blessés	Nombre de carrefours	Pourcentage
	cvodgl	2,153	0	6,520	0	11 072	66,3%
					1	1 610	9,6%
					2-5	2 294	13,7%
					6-20	1 347	8,1%
					21-142	378	2,3%
					Somme	16 701	100,0%
	cvomj	0,061	0	0,351	0	16 024	95,9%
					1	457	2,7%
					2-8	220	1,3%
					Somme	16 701	100,0%
	piedgl	0,662	0	2,001	0	12 776	76,5%
					1	1 950	11,7%
					2-10	1 813	10,9%
					11-36	162	1,0%
					Somme	16 701	100,0%
	piemj	0,066	0	0,334	0	15 890	95,1%
					1	608	3,6%
					2-5	203	1,2%
					Somme	16 701	100,0%
	cycdgl	0,344	0	1,131	0	13 771	82,5%
					1	1 772	10,6%
					2-5	1 022	6,1%
					6-35	136	0,8%
					Somme	16 701	100,0%
	cycmj	0,019	0	0,150	0	16 419	98,3%
					1	259	1,6%
					2-5	23	0,1%
					Somme	16 701	100,0%

On observe que les variables ont une très forte proportion de valeurs nulles (de 66,30% pour les blessés autos à 98,31% pour les blessés majeurs cyclistes). La médiane est ainsi toujours nulle et l'écart-type est très supérieur à la moyenne (rapport 3.1 à 7.8). Ces caractéristiques vont nous orienter dans le choix du modèle descriptif.

La distribution du nombre de blessés de conducteurs de voiture (cvodgl) est présentée en Figure 5-1.

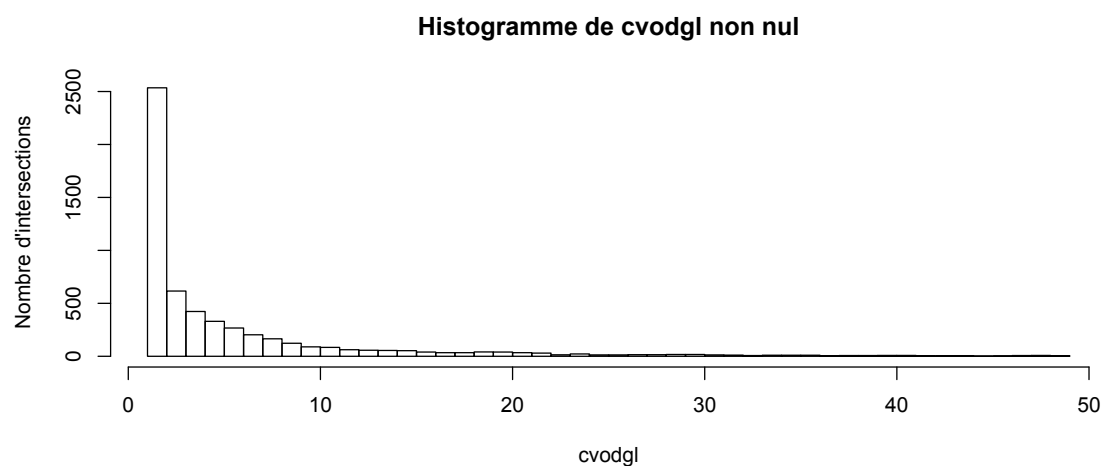


Figure 5-1 Histogramme de cvodgl entre 1 et 50

Le nombre de blessés conducteurs d'automobile décroît fortement. Pour les autres catégories d'utilisateurs, la distribution est de même type.

5.1.3 Description pour les liens routiers

La description des variables des nombres de victimes est résumée dans le Tableau 5-2.

Tableau 5-2 Tableau descriptif des nombres et taux de victimes pour les liens routiers

Liens	Variable	Moyenne	Médiane	Écart type	Nombre de blessés	Nombre de liens	Pourcentage
	cvodgl	0,242	0	2,249	0	29 423	92,9%
					1	1 118	3,5%
					2-5	848	2,7%
					6-20	231	0,7%
					21-187	47	0,1%
					Somme	31 667	100,0%
	cvomj	0,007	0	0,128	0	31 496	99,5%
					1	133	0,4%
					2-9	38	0,1%
					Somme	31 667	100,0%
	piedgl	0,074	0	0,509	0	30 232	95,5%
					1	1 072	3,4%
					2-3	294	0,9%
					4-19	69	0,2%
					Somme	31 667	100,0%
	piemj	0,009	0	0,105	0	31 411	99,2%
					1	233	0,7%
					2-3	23	0,1%
					Somme	31 667	100,0%
	cycdgl	0,032	0	0,236	0	30 232	95,5%
					1	1 072	3,4%
					2-3	294	0,9%
					4-19	69	0,2%
					Somme	31 667	100,0%
	cycmj	0,002	0	0,043	0	31 611	99,8%
					1-2	56	0,2%
					Somme	31 667	100,0%

On a, comme pour les carrefours, une nette prédominance des valeurs nulles (de 92,9% pour les blessés autos à 99,8% pour les blessés majeurs cyclistes) avec des écarts-types très supérieurs aux moyennes (rapport 6,8 à 21,5). La répartition de cvodgl est donnée en Figure 5-2.

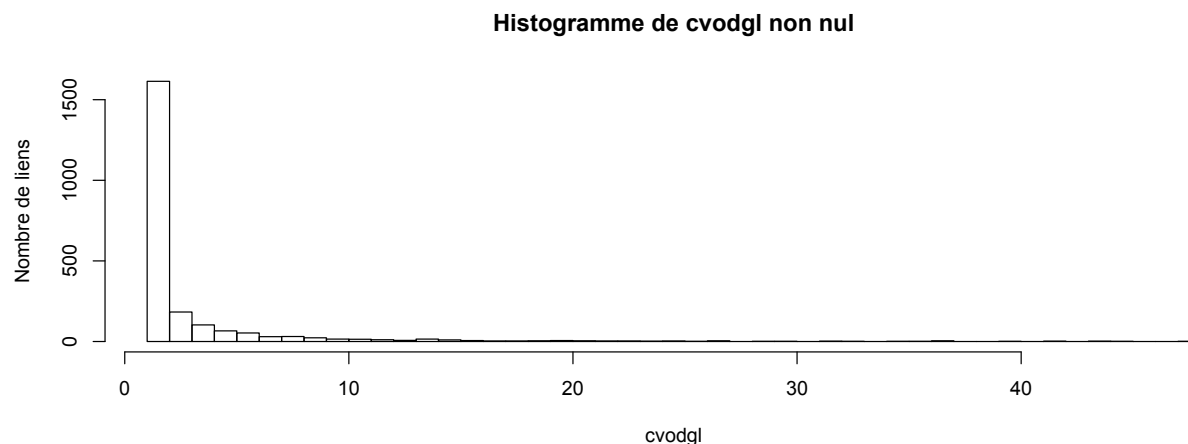


Figure 5-2 Histogramme des valeurs de cvodgl pour les liens

Les variables sont caractérisées par un grand nombre de valeurs nulles et une moyenne très inférieure à l'écart-type, comme pour les carrefours. La distribution de cvodgl décroît très vite avec un écart type encore plus faible que pour les carrefours

5.1.4 Variables de risque routier

Dans cette partie, on va évaluer une mesure de taux de victimes que l'on va appeler « risque ». Le risque est défini comme le rapport entre le nombre de victimes sur le débit des usagers pour une intersection ou un lien routier. Cela permet de créer une variable descriptive des victimes corrigée avec le débit des usagers, et ainsi d'analyser des taux de victimes par unité de débit.

$$risque = \frac{\text{Nombre de victimes}}{\text{Débit d'usagers}}$$

Elle compare des variables pour des durées très différentes : 10 ans pour le nombre de victimes et une journée d'automne pour les débits. Cela constitue une limite de prendre une période d'analyse aussi longue pour les victimes. En effet, on fait l'hypothèse que les débits n'ont pas évolués sur cette période. Les modèles de risque que nous allons calculer sont donnés à titre exploratoire pour évaluer la pertinence de cette mesure.

On définit ainsi les variables risques à partir des variables nombres de victimes en partie 5.1.1. On multiplie le risque par un facteur 1000 afin de calculer les risques pour 1000 usagers quotidiens et ainsi obtenir des valeurs de risque de l'ordre de l'unité :

- $rcvodgl = \frac{cvodgl}{flux\ voitures + flux\ passagers} * 1000$
- $rcvomj = \frac{cvomj}{flux\ voitures + flux\ passagers} * 1000$
- $rpiedgl = \frac{piedgl}{flux\ piétons} * 1000$
- $rpiemj = \frac{piemj}{flux\ piétons} * 1000$
- $rcycdgl = \frac{cydgl}{flux\ cyclistes} * 1000$
- $rcycmj = \frac{cycmj}{flux\ cyclistes} * 1000$

Les variables de risque pour les carrefours se caractérisent par une forte proportion de valeurs nulles mais aussi par des valeurs non attribuées. En effet, le nombre de blessés est divisé par le flux quotidien des usagers. Quand le débit est nul, le calcul n'est pas possible. Pour les carrefours, les valeurs non attribuées sont de 7,9% pour les voitures, 31,5% pour les piétons et 46,9% pour les cyclistes. Lorsqu'il n'y a aucun blessé pendant la période étudiée (2003-2012), la variable de risque estimée est nulle. Les pourcentages des carrefours et des liens avec risque nul sont donnés dans le Tableau 5-3 et le Tableau 5-4. Certains ensembles sont très petits. Par exemple le nombre de tronçons de rue avec un débit cycliste non nul et un nombre de blessés cyclistes non nul est égal à 37, soit 0,1% du total.

Tableau 5-3 Description des variables de risque pour les carrefours

Carrefours	Variable	Valeur non calculable (débit nul)	Risque nul (aucune victime, débit non nul)	Risque non nul (victimes et débit non nul)	Moyenne	Écart type
	<i>rcvodgl</i>	1 320 (7,9%)	9 805 (58,7%)	5 576 (33,4%)	1,236	6,04
	<i>rcvomj</i>	1 320 (7,9%)	14 705 (88,1%)	676 (4,1%)	0,034	0,50
	<i>rpiedgl</i>	5 252 (31,5%)	7 742 (46,4%)	3707 (22,2%)	2,596	7,97
	<i>rpiemj</i>	5 252 (31,5%)	10 666 (63,9%)	783 (4,7%)	0,236	1,63
	<i>rcycdgl</i>	7 838 (46,9%)	6 370 (38,1%)	2 493 (14,9%)	3,500	11,05
	<i>rcycmj</i>	7 838 (46,9%)	8 610 (51,6%)	253 (1,5%)	0,199	2,05

Tableau 5-4 description de variables de risque pour les liens routiers

Liens	Variable	Valeur non calculable (débit nul)	Risque nul (aucune victime, débit non nul)	Risque non nul (victimes et débit non nuls)	Moyenne	Écart type
	<i>rcvodgl</i>	6 466 (20,4%)	23 097 (72,9%)	2 104 (6,6%)	0,350	3,69
	<i>rcvomj</i>	6 466 (20,4%)	25 035 (79,1%)	166 (0,5%)	0,008	0,26
	<i>rpiedgl</i>	14 340 (45,3%)	16 136 (51%)	1 191 (3,8%)	0,711	5,58
	<i>rpiemj</i>	14 340 (45,3%)	17 112 (54%)	215 (0,7%)	0,089	1,43
	<i>rcycdgl</i>	19 462 (61,5%)	11 664 (36,8%)	541 (1,7%)	0,614	4,67
	<i>rcycmj</i>	19 462 (61,5%)	12 168 (38,4%)	37 (0,1%)	0,023	0,61

Le logarithme des variables de risque semble suivre une distribution normale, comme on le voit en Figure 5-3 pour *rcvodgl* au niveau des carrefours.

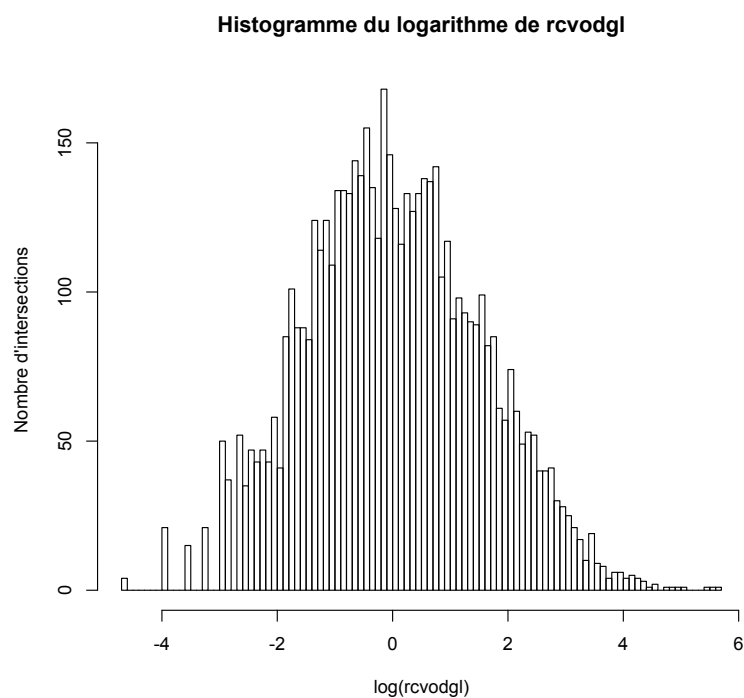


Figure 5-3 Distribution fréquentielle de $\log(\text{rcvodgl})$ pour les carrefours. Les valeurs nulles ne sont pas prises en compte

5.2 Variables explicatives

Les variables des nombres et taux de victimes vont être mises en relation par des variables explicatives dans les modèles de régression.

5.2.1 Variables explicatives pour les carrefours

Pour les carrefours nous allons utiliser les variables suivantes :

- Débits quotidiens de voitures, vélos et piétons : *flux_voitures*, *flux_velos* et *flux_pietons*
- Nombre de branches du carrefour : *liens3*
- Longueur maximale des approches du carrefour : *longueur_max*
- Carrefour avec une artère : *artere*
- Largeur maximale de la chaussée parmi les liens du carrefour : *max_larg_rue*

5.2.1.1 Flux quotidiens de voitures, vélos et piétons

La distribution de ces variables est décrite dans le paragraphe 4.5.2.1

5.2.1.2 Nombre de branches du carrefour

Cette variable (*liens3*) est une variable catégorielle binaire :

- Carrefour à 3 branches : 6806 carrefours, soit 41,9% des carrefours (variable *liens3* positive)
- Carrefour à 4 branches ou plus : 9447 carrefours, soit 58,1% (variable négative)

5.2.1.3 Longueur maximale des approches du carrefour

Longueur_max est la longueur maximale du lien parmi les approches du carrefour. Cette variable est utilisée, entre autres, comme indicateur de la vitesse d'arrivée au carrefour (variable de substitution).

Tableau 5-5 Statistiques de la longueur maximale

Longueur maximale (m)						
Minimum	1er quartile	Médiane	Moyenne	3eme quartile	Maximum	Écart-type
10	134	198	216	268	2768	128,4

5.2.1.4 Présence d'une artère

Artere est une variable catégorielle qui détermine si le carrefour connecte au moins une artère au sens de la CMM (catégorie 1 de lien) ou non.

- 3517 carrefours ont une artère, soit 21,6%
- 12 736 n'en ont pas, soit 78,4%.

5.2.1.5 Largeur maximale de chaussée

Max_larg_rue est la largeur maximale des chaussées des liens constituant le carrefour.

Tableau 5-6 Statistiques de la largeur de chaussée maximale

Largeur de chaussée maximale (m)						
Minimum	1er quartile	Médiane	Moyenne	3eme quartile	Maximum	Écart-type
3,94	9,41	11,24	11,57	12,87	23,83	2,7

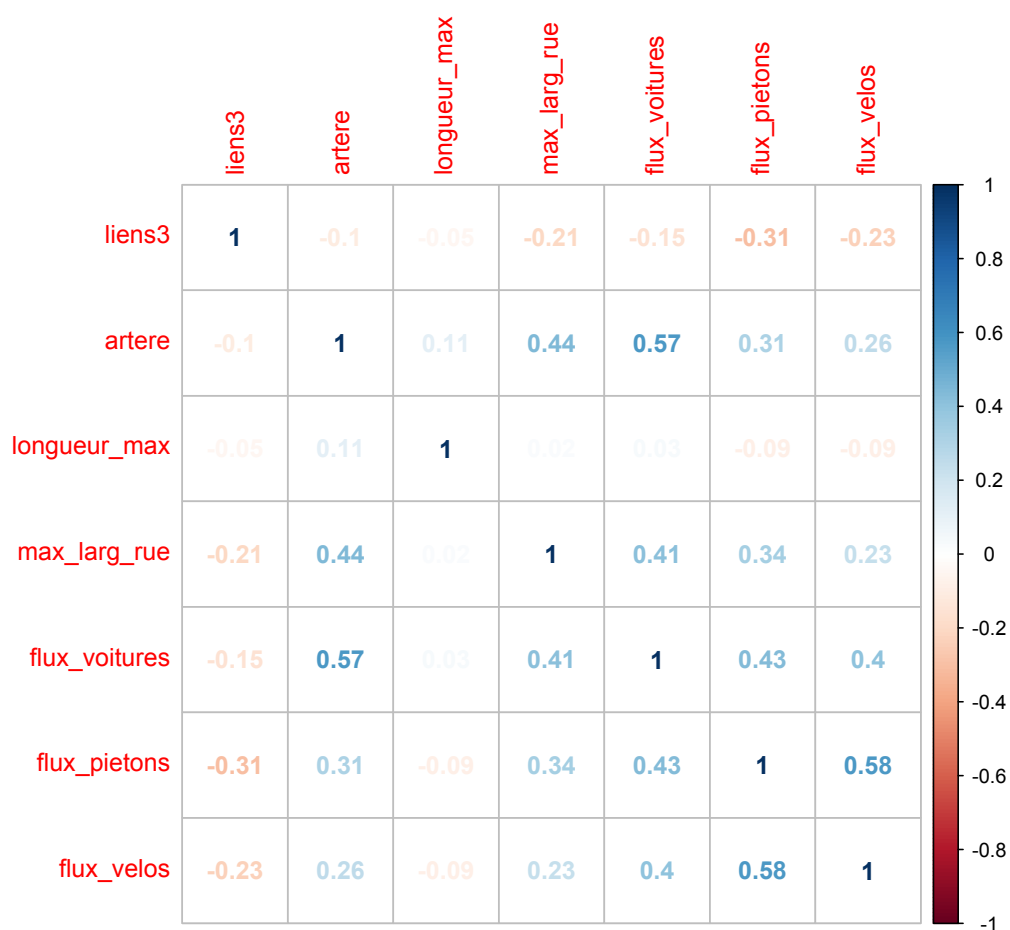
5.2.1.6 Analyse des corrélations

Les variables explicatives peuvent être linéairement corrélées, c'est à dire liées entre elles. Afin de mesurer cette corrélation, on calcule le coefficient de corrélation linéaire de Pearson qui varie entre -1 (corrélation linéaire négative parfaite) et +1 (corrélation linéaire positive parfaite). Le tableau des noms des variables est en Tableau 5-7 et la matrice de corrélation est en Tableau 5-8.

Tableau 5-7 Nom des variables pour les carrefours

Carrefours	Variable explicative	Nom de la variable
	Carrefours à 3 branches (1 si 3 branches, 0 si 4 branches et plus)	<i>liens3</i>
	Longueur maximale du lien parmi ceux débouchant sur le carrefour	<i>longueur_max</i>
	Carrefour avec artère (1 si présence d'artère, 0 sinon)	<i>artere</i>
	Largeur maximale du lien parmi ceux débouchant sur le carrefour	<i>max_larg_rue</i>
	Flux de voitures	<i>flux_voitures</i>
	Flux de piétons	<i>flux_pietons</i>
	Flux de vélos	<i>flux_velos</i>

Tableau 5-8 Matrice de corrélation des variables explicatives pour les carrefours



Les couples de variables dont le coefficient de corrélation est supérieur à 0,4 sont :

- artere/max_larg_rue (0,44)
- flux_velos/flux_pietons (0,58)
- artere/flux_voitures (0,57)
- max_larg_rue/flux_voitures (0,41)
- flux_voitures/flux_pietons (0,43)

Ces corrélations vont entraîner une interdépendance des coefficients lors du calcul des modèles. Cependant, il faut aussi tester la colinéarité entre les variables. Si celle-ci n'est pas trop élevée alors les modèles pourront être utilisés même si le coefficient de corrélation de Pearson est important. La valeur VIF (Variance Inflation Factor) d'une variable est calculée avec la valeur du R carré de la régression linéaire de celle-ci en fonction des autres variables :

$$VIF_i = \frac{1}{1 - R_i^2}$$

R_i : R carré de la régression linéaire de la variable i en fonction des autres variables

La mesure VIF teste ainsi la multicollinéarité d'une variable par rapport aux autres variables. Les résultats sont donnés dans le Tableau 5-9.

Tableau 5-9 Valeurs VIF des variables carrefours

carrefours	Variables	VIF
	liens3	1,13
	artere	1,61
	longueur_max	1,04
	max_larg_rue	1,38
	flux_voitures	1,76
	flux_pietons	1,76
	flux_velos	1,65

Les valeurs de la fonction VIF sont comprises entre 1,04 et 1,76. Cela montre que la colinéarité entre les variables est faible. En effet, on considère que la colinéarité est importante lorsque la valeur VIF est supérieure à 5.

5.2.2 Variables explicatives pour les liens

Les variables explicatives pour les liens sont les suivantes :

- Flux quotidiens de voitures, vélos et piétons : *flux_voitures*, *flux_velos* et *flux_pietons*
- Longueur du lien
- Largeur de rue

5.2.2.1 Flux quotidiens de voitures, vélos et piétons

Le détail de ces variables est dans le paragraphe 4.5.2.2.

5.2.2.2 Longueur du lien

Longueur est la longueur du lien, la description de cette variable est dans le Tableau 5-10.

Tableau 5-10 Statistiques de la longueur des liens

Longueur du lien (m)						
Minimum	1er quartile	Médiane	Moyenne	3eme quartile	Maximum	Écart-type
4	74	99	147,4	195	4472	122

5.2.2.3 Largeur de la chaussée

Largeur_rue est la largeur de la chaussée du lien, la description de cette variable est dans le Tableau 5-11.

Tableau 5-11 Statistiques de la largeur des chaussées

Largeur des chaussées (m)						
Minimum	1er quartile	Médiane	Moyenne	3eme quartile	Maximum	Écart-type
3,05	8,96	10,14	10,33	12,04	23,83	2,58

5.2.3 Analyse des corrélations

Les variables aléatoires des victimes et des risques de blessure seront expliquées à l'aide de variables explicatives déjà présentées aux paragraphes 5.2.1 et 5.2.2. Comme pour les variables des carrefours, on effectue l'analyse des corrélations.

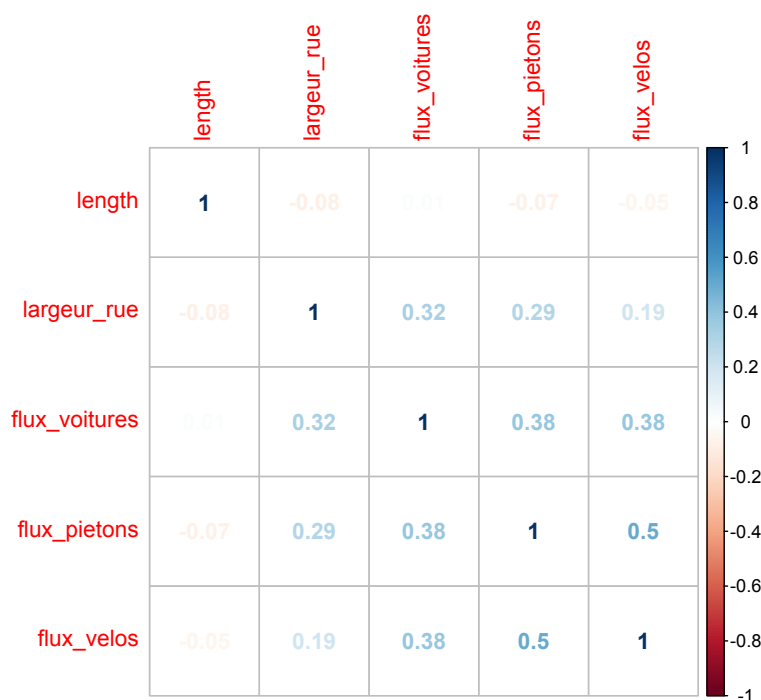
5.2.3.1 Corrélations pour les variables des liens

Les noms des variables sont donnés dans le Tableau 5-12 et la matrice de corrélations est dans le Tableau 5-13.

Tableau 5-12 Noms des variables utilisées dans les modèles de régression

Liens	Variable explicative	Nom de la variable
	Longueur des liens	<i>length</i>
	largeur de chaussée	<i>largeur_rue</i>
	Largeur de trottoir	<i>largeur_trottoir</i>
	Flux de voitures	<i>flux_voitures</i>
	Flux de piétons	<i>flux_pietons</i>
	Flux de vélos	<i>flux_velos</i>

Tableau 5-13 Matrice de corrélation des variables des liens



Un couple de variables a un coefficient de corrélation supérieur à 0,4, seuil souvent utilisé comme critère d'identification des corrélations fortes ou non : le couple flux_pietons/flux_velos (0,5). Ces variables ne vont pas être utilisées ensembles pour les modèles de régression.

Des corrélations plus faibles (supérieures à 0,3) existent pour les couples largeur_rue/flux_voitures, flux_voitures/flux_pietons et flux_voitures/flux_velos.

La colinéarité est testée avec la fonction VIF. Le résultat est donné dans le Tableau 5-14:

Tableau 5-14 Valeurs VIF pour les variables des liens

liens	Variables	VIF
	length	1,01
	largeur_rue	1,15
	flux_voitures	1,32
	flux_pietons	1,51
	flux_velos	1,52

Les valeurs VIF sont assez faibles pour que la colinéarité ne fausse pas les modèles. On peut garder toutes les variables dans les modèles, mais l'introduction de variables linéairement corrélées va avoir un impact sur la valeur des coefficients de chacune d'entre elles.

5.3 Modèles

Différents modèles peuvent être estimés pour décrire le comportement des variables mesurées en fonction de variables explicatives. Nous allons utiliser des modèles linéaires généralisés afin de prédire le nombre de personnes blessés en fonction des variables explicatives. Ces modèles généralisent la régression linéaire en introduisant une fonction lien. Nous allons utiliser deux modèles :

- le modèle binomial négatif pour le nombre de blessures;
- le modèle exponentiel pour le risque de blessure (à titre exploratoire).

Le modèle de Poisson n'a pas été utilisé car celui-ci nécessite que la variable modélisée suive la loi de Poisson et ait donc une moyenne et une variance égales. Or on observe dans le Tableau 5-1 et le Tableau 5-2 que la moyenne et la variance sont très différentes dans nos données.

5.3.1 Régression binomiale négative du nombre de blessés

Plusieurs régressions binomiales ont été effectuées en gardant quelques variables à chaque fois. Seuls les meilleurs modèles sont présentés ici selon la valeur de la déviance des résidus qui est une généralisation de l'utilisation de la méthode des moindres carrés. Le modèle binomial négatif prédit le nombre de blessés moyen sur les liens et les carrefours en calculant les coefficients qui minimisent l'erreur entre les valeurs réelles et prédites. C'est un modèle linéaire généralisé décrit de la manière suivante :

$$Y_i \sim Bn(\mu_i)$$

$$\mu_i = \exp \left(\sum_j \beta_j X_{i,j} \right)$$

Y_i : Nombre de victimes par an pour le site (carrefour ou lien) i

$Bn(\mu_i)$: Distribution binomiale négative de moyenne μ_i

\exp : Fonction exponentielle

β_j : Coefficients du modèle pour la variable j

$X_{i,j}$: Valeur de la variable explicative j pour le site i

$\sum_j \beta_j X_{i,j}$ Prédicteur linéaire pour le site i

Les coefficients des modèles ont été estimés par maximum de vraisemblance à l'aide du logiciel R. Un coefficient négatif indique une association négative entre le nombre moyen de blessés et la variable et un coefficient positif une association positive entre le nombre moyen de blessés et la variable.

5.3.1.1 Modèles pour les carrefours

Les coefficients des modèles complets sont dans le Tableau 5-15 et le Tableau 5-16.

Tableau 5-15 Résumé des coefficients des modèles binomiaux négatifs pour le nombre de blessés aux carrefours (12 508 carrefours sur l'île de Montréal)

	DGL	Voitures		Piétons		Vélos	
		Coefficients	valeur p	Coefficients	valeur p	Coefficients	valeur p
Carrefours	Liens3	-1,50	< 0,001	-1,04	< 0,001	-1,20	< 0,001
	Flux voitures	0,35	< 0,001	0,16	< 0,001	0,14	< 0,001
	Flux piétons			0,48	< 0,001		
	Flux vélos					0,40	< 0,001
	Artères	1,17	< 0,001	0,55	< 0,001	0,47	< 0,001
	Largeur de rue max	0,54	< 0,001	0,43	< 0,001	0,36	< 0,001
	Longueur max	0,11	< 0,001	0,03	0,067	-0,08	0,0015

Tableau 5-16 Résumé des coefficients des modèles binomiaux négatifs pour le nombre de blessés majeurs aux carrefours (12 508 carrefours sur l'île de Montréal)

	MJ	Voitures		Piétons		Vélos	
		Coefficients	valeur p	Coefficients	valeur p	Coefficients	valeur p
Carrefours	Liens3	-1,17	< 0,001	-1,10	< 0,001	-1,79	< 0,001
	Flux voitures	0,23	< 0,001	0,11	< 0,001	0,05	0,28
	Flux piétons			0,32	< 0,001		
	Flux vélos					0,29	< 0,001
	Artères	1,29	< 0,001	0,91	< 0,001	0,67	< 0,001
	Largeur de rue max	0,36	< 0,001	0,38	< 0,001	0,31	< 0,001
	Longueur max	0,18	< 0,001	0,00	0,91	-0,02	0,76

Les variables continues dans les modèles ont été centrées, c'est à dire soustraites à leur moyenne et divisées par leur écart-type. Cela permet de pouvoir comparer les coefficients des variables continues et catégorielles entre eux et d'identifier rapidement le poids de chaque variable dans l'explication du phénomène.

On observe que la variable liens3 est associée négativement au nombre de blessés. Les carrefours à trois branches ont donc moins de victimes que les carrefours à quatre branches ou plus. Les flux

d'usagers ont toujours une association positive, plus il y a d'usagers plus il y a de victimes. Pour les blessés piétons et vélos, le débit des voitures est associé positivement au nombre de blessés. La présence d'une artère est aussi associée positivement.

La largeur maximale de chaussée est associée positivement pour les blessés occupants de voiture, piétons et cyclistes. Mais pour les blessés piétons et cyclistes, le lien n'est significatif que pour les blessés totaux et non pour les blessés majeurs, où les valeurs p (0,91 et 0,76) ne permettent pas d'exclure l'hypothèse nulle, qui consiste à dire que la variable explicative n'est pas associée à la variable dépendante, c'est à dire que son coefficient est nul.

Au contraire la longueur maximale est associée plus fortement pour les blessés majeurs que pour les blessés totaux. Cela peut s'expliquer par le fait que cette variable est une indication de la vitesse d'arrivée au carrefour. La vitesse élevée est associée plus fortement pour les blessés majeurs que pour l'ensemble des blessés.

5.3.1.2 Analyse des résidus

On s'intéresse au modèle de description des blessés des occupants de véhicule à moteur. On observe en Figure 5-4 que le modèle décrit mal les victimes pour des flux de voiture élevés.

Résidus en fonction du flux des voitures

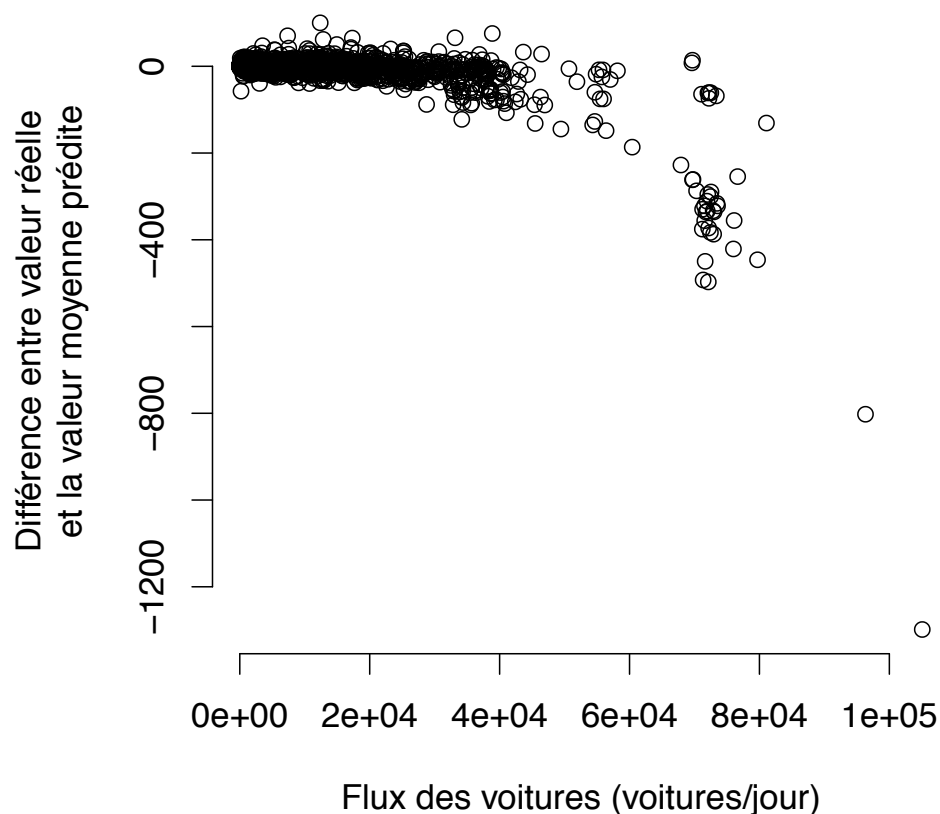


Figure 5-4 diagramme des résidus par le modèle cvodgl pour les carrefours en fonction du flux voitures.

La distribution des résidus normalisés de Pearson n'est pas normale, comme le montre le diagramme Q-Q en Figure 5-5. Il y a une rupture de pente, les résidus suivent une distribution normale puis une autre distribution normale de paramètres différents (avec une pente différente). On observe que les deux distributions normales correspondent aux valeurs nulles et non nulles de cvodgl. Le grand nombre de valeurs nulles de cvodgl semble donc forcer le modèle à s'adapter à ces valeurs. Dans de futures études, on pourra s'intéresser aux résultats du modèle de Poisson à zéros surreprésentés pour étudier si la distribution des résidus est différente.

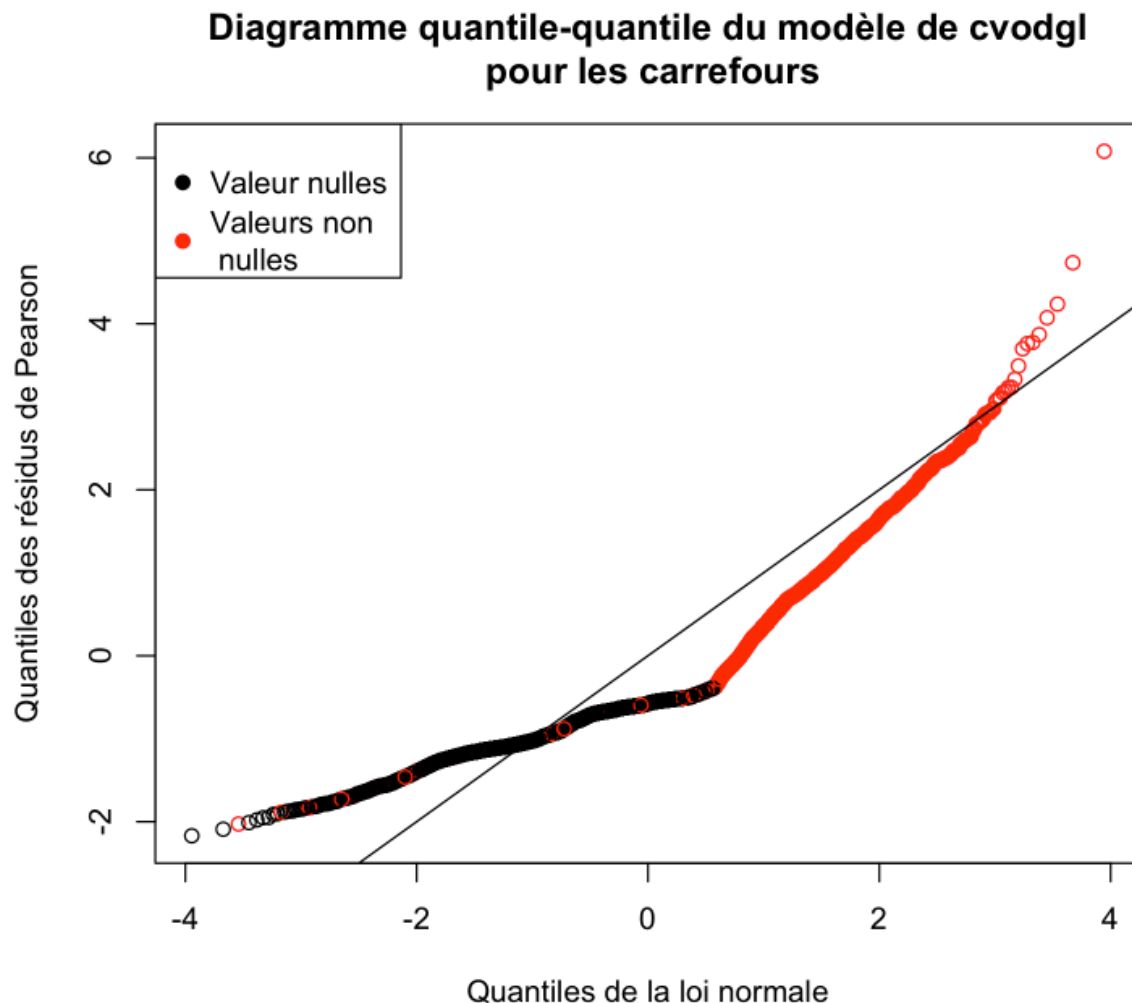


Figure 5-5 Diagramme Quantile-Quantile des résidus pour le modèle cvodgl pour les victimes

Les résultats sont similaires pour les modèles piétons et cyclistes. Ils décrivent mal le nombre de victimes pour les valeurs élevées des débits piétons et cyclistes respectivement. On observe aussi une rupture de pente dans les diagrammes quantile-quantile liés aux valeurs nulles des variables dépendantes.

5.3.1.3 Modèles pour les liens

Cinq variables explicatives sont utilisées pour les liens :

- **Longueur** : longueur du lien

- **Flux voitures** : Débit quotidien des voitures
- **Flux piétons** : Débit quotidien des piétons
- **Flux vélos** : Débit quotidien des cyclistes
- **Largeur rue** : Largeur de chaussée du lien

Les résultats sont donnés dans le Tableau 5-17 et le Tableau 5-18 pour 26 620 tronçons de rue de l'île de Montréal.

Tableau 5-17 Résultats des modèles du nombre de blessés total

	DGL	Voitures		Piétons		Vélos	
		Coefficients	valeur p	Coefficients	valeur p	Coefficients	valeur p
Liens	Longueur	0,69	< 0.001	0,64	< 0.001	0,56	< 0.001
	Flux voitures	0,63	< 0.001	0,12	< 0.001	0,23	< 0.001
	Flux piétons			0,43	< 0.001		
	Flux vélos					0,31	< 0.001
	Largeur rue	0,63	< 0.001	0,43	< 0.001	0,53	< 0.001

Tableau 5-18 Résultats des modèles du nombre de blessés majeurs

	MJ	Voitures		Piétons		Vélos	
		Coefficients	valeur p	Coefficients	valeur p	Coefficients	valeur p
Liens	Longueur	0,65	< 0.001	0,46	< 0.001	0,36	< 0.001
	Flux voitures	0,26	< 0.001	0,02	0,61	0,11	0,17
	Flux piétons			0,28	< 0.001		
	Flux vélos					0,21	0,0078
	Largeur rue	0,42	< 0.001	0,57	< 0.001	0,51	< 0.001

La longueur est une variable associée positivement avec le nombre de blessés. Plus le lien est long, plus il y a de victimes. Le flux de voitures est associé positivement au nombre de victimes totales mais est non significatif pour les blessés majeurs cyclistes et piétons. Ce résultat peut être lié au manque de données pour les tronçons de rue avec blessés majeurs sur les tronçons de rue. Comme on l'a vu dans le Tableau 5-3, seuls 215 tronçons de rue ont un nombre de piétons

blessés majeurs non nul (0,7% du total) et 37 un nombre de cyclistes blessés majeurs non nul (0,1% du total). L'estimation du modèle se fait pour un grand nombre de liens routiers mais dont une très faible partie a un nombre non nul de victimes. Les résultats doivent ainsi être pris avec prudence. La largeur de rue est toujours associée positivement au nombre de blessés.

5.3.1.4 Analyse des résidus

On effectue l'analyse des résidus pour le modèle des occupants de voiture blessés sur les tronçons de rue. Sur la Figure 5-6, on observe que le modèle décrit mal le nombre moyen de blessés pour des valeurs élevées du débit journalier des voitures et de la longueur du tronçon de rue.

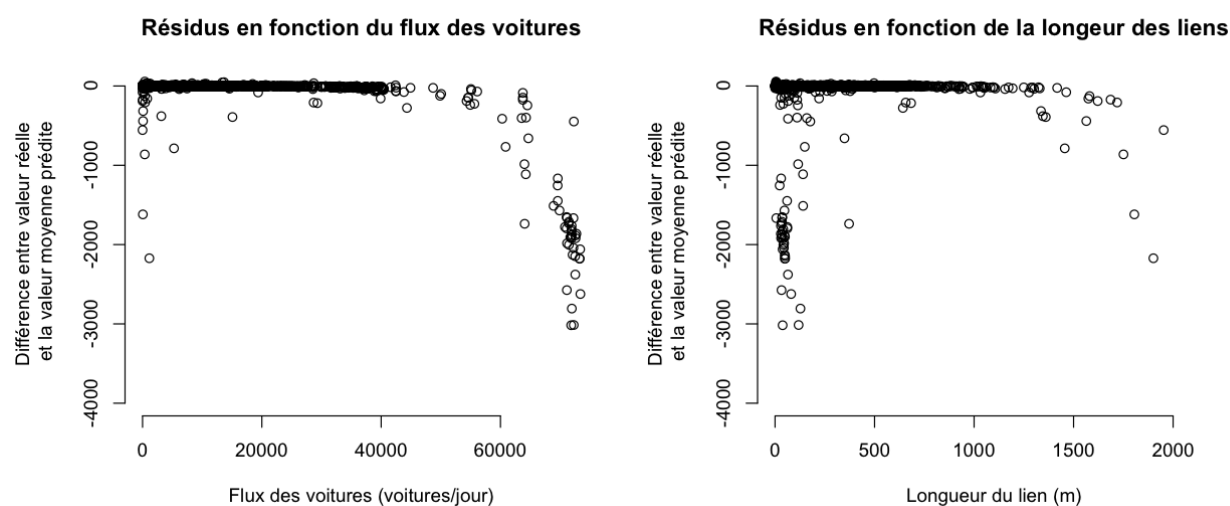


Figure 5-6 Graphique des résidus et des valeurs prédites par le modèle

Le diagramme quantile-quantile en Figure 5-7 montre que les quantiles des résidus normalisés ne correspondent pas à une loi normale. On observe comme pour les carrefours une rupture de pente entre les valeurs nulles de $cvodgl$ et les valeurs non nulles de $cvodgl$. C'est le même genre d'effets que pour les carrefours.

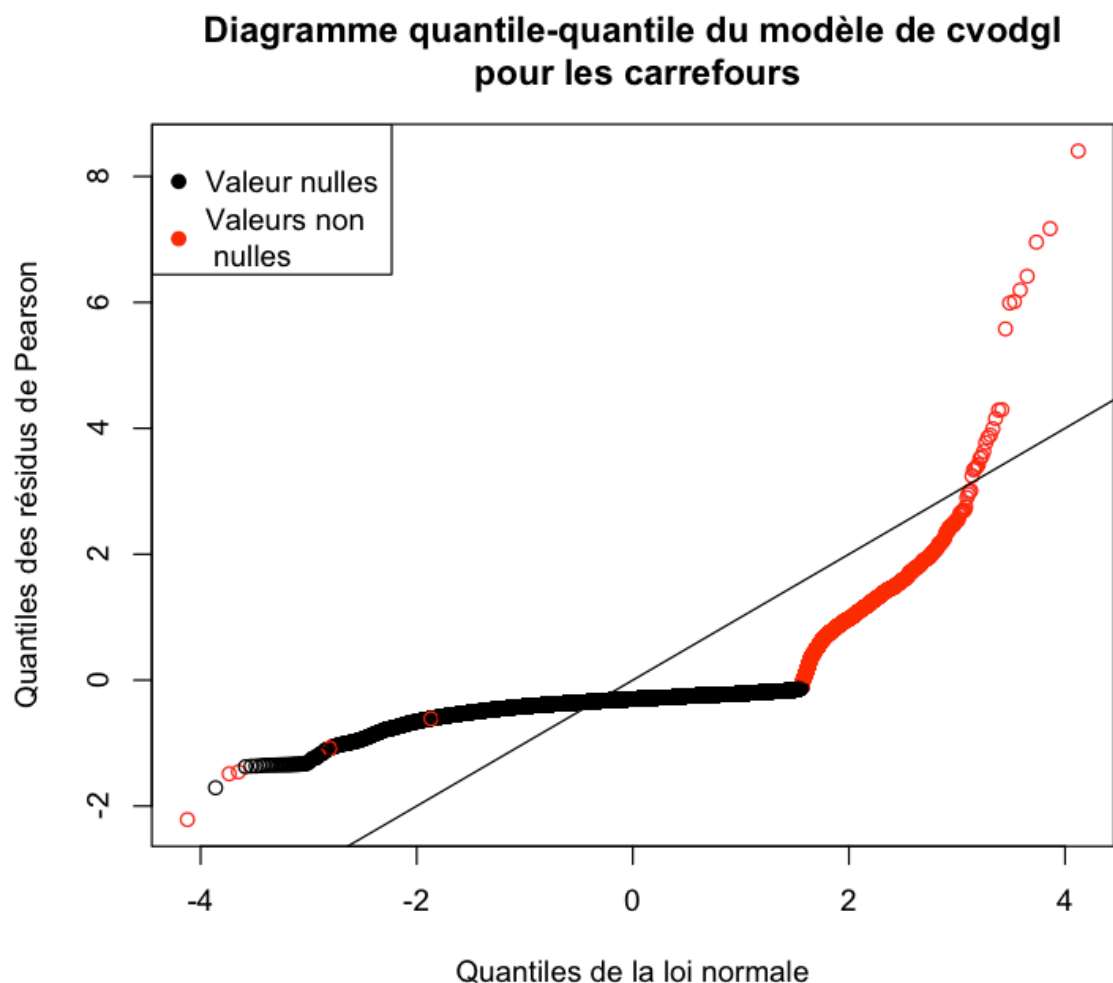


Figure 5-7 Diagramme Quantile-Quantile des résidus

Pour les modèles des victimes cyclistes et piétons, l'analyse des résidus n'est pas présentée dans ce mémoire. On obtient de même une mauvaise description pour les valeurs élevées des débits piétons (blessés piétons) ou des débits cyclistes (blessés cyclistes) et de la longueur des tronçons de rue.

5.3.2 Modèles exponentiels de risques

5.3.2.1 Définition

Les modèles exponentiels de risque sont donnés à titre exploratoire. Ils sont estimés avec la méthode des moindres carrés. La définition est la suivante :

$$\log(Y_i) \sim \sum_j \beta_j X_{i,j} + \varepsilon$$

$$\varepsilon \sim N(0, \sigma)$$

Y_i : Risque pour le site i (déterminé pour les carrefours et les liens)

$\sum_j \beta_j X_{i,j}$ Prédicteur linéaire pour le site i

β_j : Coefficient de la variable j

$X_{i,j}$: Valeur de la variable explicative j pour le site i

ε : Erreur normale de moyenne 0 et d'écart type σ

5.3.2.2 Carrefours

Les modèles de risques sont présentés dans le Tableau 5-19 et le Tableau 5-20. Les coefficients sont ceux du modèle exponentiel; une régression linéaire a été appliquée au logarithme des risques.

Tableau 5-19 Résumé des coefficients des modèles exponentiels pour le risque de blessures aux carrefours

Carrefours	RDGL	Voitures (15 018 carrefours)		Piétons (11 176 carrefours)		Vélos (8 633 carrefours)	
		Coefficients	valeur p	Coefficients	valeur p	Coefficients	valeur p
	Liens3	-0,31	< 0.001	0,20	< 0.001	0,22	< 0.001
	Flux voitures			-0,07	< 0.001	-0,12	< 0.001
	Flux piétons						
	Flux vélos						
	Artères	-1,26	< 0.001	0,16	0,001	-0,07	0,29
	Largeur de rue max	-0,22	< 0.001	0,20	< 0.001	0,21	< 0.001
	Longueur max	0,07	< 0.001	-0,03	0,14	0,12	< 0.001
	R carré	0,25		0,05		0,06	

Tableau 5-20 Résumé des coefficients des modèles exponentiels pour le risque de blessures majeures aux carrefours

Carrefours	RMJ	Voitures (15 018 carrefours)		Piétons (11 176 carrefours)		Vélos (8 633 carrefours)	
		Coefficients	valeur p	Coefficients	valeur p	Coefficients	valeur p
	Liens3	0,28	0,042	0,42	< 0.001	-0,07	0,79
	Flux voitures			-0,09	0,0014	-0,24	< 0.001
	Flux piétons						
	Flux vélos						
	Artères	-2,14	< 0.001	-0,12	0,25	0,58	0,011
	Largeur de rue max	-0,18	0,004	0,20	< 0.001	0,21	0,045
	Longueur max	0,08	0,098	-0,11	0,019	-0,32	0,004
	R carré	0,47		0,12		0,25	

Globalement, on observe que les valeurs des R carré sont assez faibles, surtout pour les risques en vélo et à pied. Mais ils sont plus élevés pour les risques de blessures majeures que pour les blessés totaux. On observe que le flux de voitures est associé négativement au risque de blessure pour les piétons et les vélos. Cela signifie que le taux de risque croît de façon non linéaire. La largeur de rue max est associée négativement avec les risques en voiture mais positif sur les risques piétons et cyclistes. La longueur max est associée négativement avec le risque de blessure majeure des piétons et des cyclistes.

5.3.2.3 Analyse des résidus

On étudie les résidus pour le modèle du risque des occupants de voiture (rcvodgl). Sur la Figure 5-8, on observe que les points sont groupés en deux amas, présence d'une artère au carrefour ou non. La présence d'une artère est très significative et sépare les valeurs prédites en deux ensembles. Le diagramme Quantile-Quantile en Figure 5-9 montre que les résidus ont bien une distribution normale, ce qui valide l'hypothèse d'erreur normale du modèle.

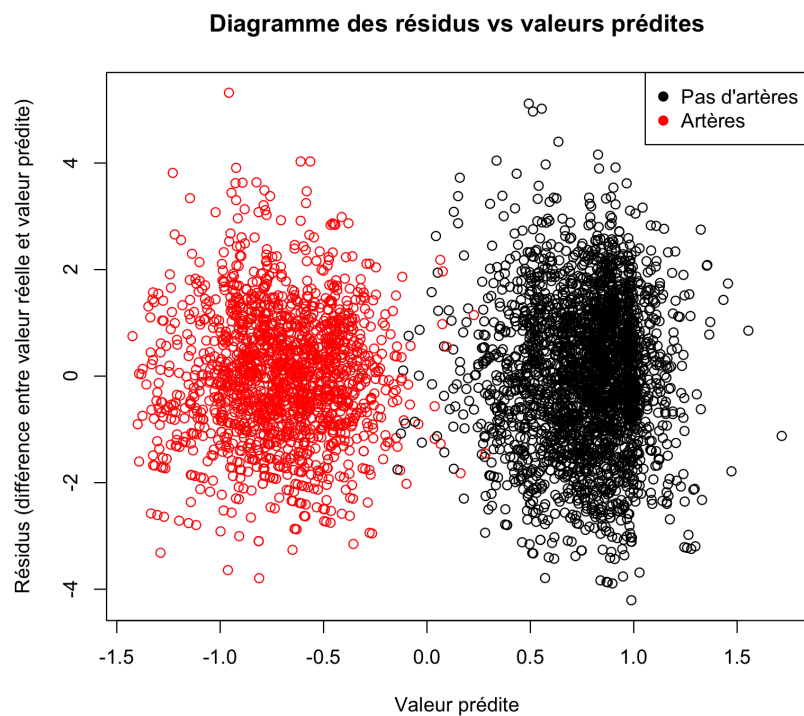


Figure 5-8 Graphique des résidus en fonction des valeurs prédites

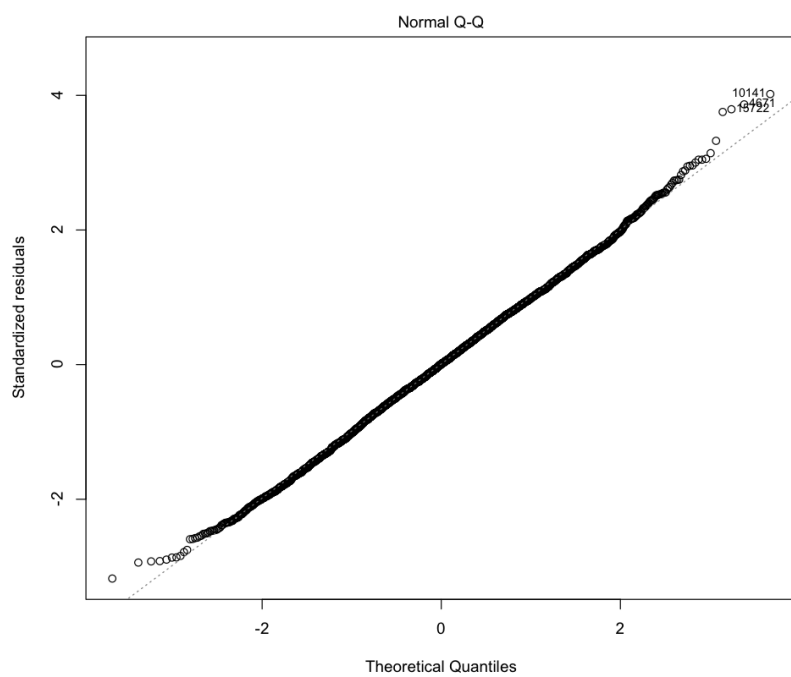


Figure 5-9 Diagramme Quantile-Quantile des résidus du modèle exponentiel en fonction des quantiles de la loi normale

5.3.3 Discussion des modèles

Les modèles du nombre de blessés ont donc montré quelles variables étaient significatives et lesquelles ne l'étaient pas. L'analyse des résidus a cependant montré une mauvaise description pour les valeurs extrêmes de certaines variables ainsi qu'une distribution non normale des résidus, liée à la forte proportion de valeurs nulles. Il serait pertinent de tester un modèle de Poisson à zéros surreprésentés afin d'étudier si les résultats sont meilleurs, mais cela ne fait pas l'objet de cette étude.

CHAPITRE 6 PARTAGE DE LA RUE

L'objectif de cette partie est de créer, de tester et d'opérationnaliser un indicateur de partage de la rue.

6.1 Partage de la rue

Le réseau routier est partagé entre différents usagers ayant des besoins et des vulnérabilités différentes. L'équilibre dépend des politiques publiques de transport et de la priorité donnée à certains modes de transport. Durant des années, la voiture était considérée comme prioritaire comparées aux autres modes de transport et a été largement favorisée. Cependant les politiques publiques favorisent désormais les modes « doux » (vélos et piétons) comme en témoignent les politiques d'apaisement de la circulation à Montréal ou encore les plans cyclistes.

La question du partage de la rue est un problème spatiotemporel. Spatial car l'emprise sur la chaussée des voies de circulation (routes, pistes cyclables, trottoirs, voies réservées de transport en commun) et de stationnement (automobile mais aussi cycliste) est le principal facteur de partage. Temporel, car le temps de passage aux carrefours à feu traduit une priorité de mode de transport. Le stationnement et certaines voies réservées de transport en commun varient aussi dans le temps. Afin d'illustrer ce partage, on va s'intéresser à un exemple qui permettra de généraliser l'indicateur à l'ensemble du réseau.

6.1.1 Exemple de la rue Villeneuve

Le partage spatial de la rue se caractérise par plusieurs facteurs. Le principal élément est la largeur des voies de circulation. Cela est directement lié à la capacité et au confort des usagers circulant sur le réseau. Lorsqu'il y a des voies réservées, on peut déterminer pour chaque mode la largeur de la rue attribuée à celui-ci. Prenons l'exemple du tronçon de la rue Villeneuve entre l'avenue de L'Esplanade et la rue St-Urbain (Montréal H2T 2R5 et Montréal H2T 2R6). Dans cette rue, différents espaces sont attribuées aux différents modes de transport (Figure 6-1) : la piste cyclable est réservée aux vélos, la route pour les voitures et le trottoir aux piétons. Il n'y a pas de transport en commun sur ce tronçon de voie, qui est donc exclus de l'analyse dans cet exemple.

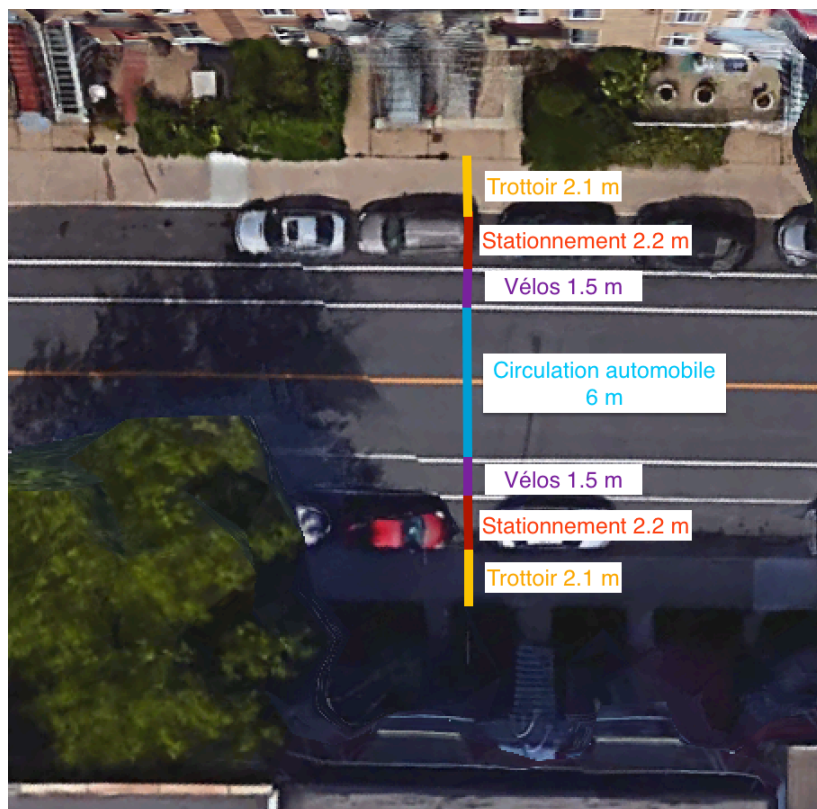


Figure 6-1 : Largeur des voies de la rue Villeneuve (H2T 2R5)

Tableau 6-1 Largeurs des voies de la rue Villeneuve (H2T 2R5)

	Largeur des voies (m)	Pourcentage de la largeur totale
Circulation automobile	6	34%
Circulation cycliste	3	17%
Stationnement automobile	4,4	25%
Circulation piétonne	4,2	24%
Total	17,6	100%

La largeur des voies est un premier moyen de quantifier le partage de la route. On peut améliorer la mesure de répartition de l'espace en prenant le tronçon total de la rue et ainsi prendre en compte d'autres éléments ponctuels de l'espace public réservé pour certains modes de transport. Dans l'exemple de la rue Villeneuve, il y a présence d'une station de vélopartage, de saillies de trottoir et de végétation. La surface occupée par les aménagements des différents modes de transport sur la voirie est donnée dans le Tableau 6-2.

Tableau 6-2 Surface occupée par chaque mode de transport sur la rue Villeneuve (H2T 2R5)

	Surface (m2)	Part de la surface
Circulation automobile	485	34,9%
Circulation cycliste	250	18,0%
Stationnement automobile	262	18,8%
Circulation piétonne	332	23,9%
Vélopartage	20	1,4%
Végétation	42	3,0%
Total	1390	100%

La répartition est modifiée par rapport aux pourcentages mesurés avec la largeur de la rue uniquement. Mais ces résultats ne sont pas assez représentatifs de l'espace alloué à chaque mode. En effet, ces pourcentages ne prennent pas en compte la capacité réelle de chaque infrastructure. La station de vélopartage (Bixi) comporte ainsi 11 stationnements pour vélo et occupe une surface de 20 m² soit 1,4% du tronçon. Le côté nord de la rue comporte également 11 places de stationnement pour les automobiles pour une surface de 130 m², soit 9,5% de la superficie du tronçon.

La part de surface est donc plus précise et permet de prendre en compte l'ensemble des offres de transport pour un tronçon de rue (vélopartage par exemple). La proportion de la largeur attribuée à chaque mode est plus simple, mais moins précise. C'est elle qui sera explorée dans la suite du chapitre car sa mesure est plus accessible.

6.2 Indicateur de partage de la route

6.2.1 Définition

On définit l'indicateur de partage de la rue par la proportion d'espace réservé à chaque mode, en supposant les rues homogènes longitudinalement (et en ne prenant pas compte des aménagements spéciaux, c'est à dire qui ne sont pas présents sur toute la longueur). Cet indicateur peut être mesuré pour les piétons et les véhicules à moteur avec les largeurs des chaussées et des trottoirs précédemment mesurées.

L'indicateur de partage de rue (part rue) est le suivant :

$$part\ rue = \frac{2 * largeur_moyenne_trottoir}{largeur_chaussée + 2 * largeur_moyenne_trottoir}$$

Cet indicateur suppose qu'un trottoir est présent sur chaque bord de la rue. L'algorithme fait la moyenne de la largeur des trottoirs des deux côtés de la rue, d'où la multiplication par deux pour obtenir la largeur totale des trottoirs sur le lien routier. Pour le moment, il ne prend en compte que la répartition de l'espace entre piétons et véhicules motorisés mais des formulations incluant d'autres modes pourront en découler. L'indicateur de partage de la rue varie de 0 à 1. Plus il est élevé, plus la répartition de l'espace est favorable aux piétons (0= pas de trottoir, 100% de l'espace à la voiture; 1= rue piétonne, 100% d'espace aux piétons).

L'histogramme des valeurs de l'indicateur pour les tronçons de l'île de Montréal est donné en Figure 6-2. L'indicateur n'est mesuré que pour les tronçons de rue dont on a calculé la largeur du trottoir et de la chaussée, c'est à dire pour 24 838 tronçons de rue soit 77,7% du nombre total sur l'île de Montréal. On observe que les valeurs se concentrent entre 0,1 (10% d'espace pour les piétons) et 0,4 (40% d'espace pour les piétons) et que plus de 3500 liens sont à 0, ce qui signifie qu'ils n'ont pas de trottoirs.

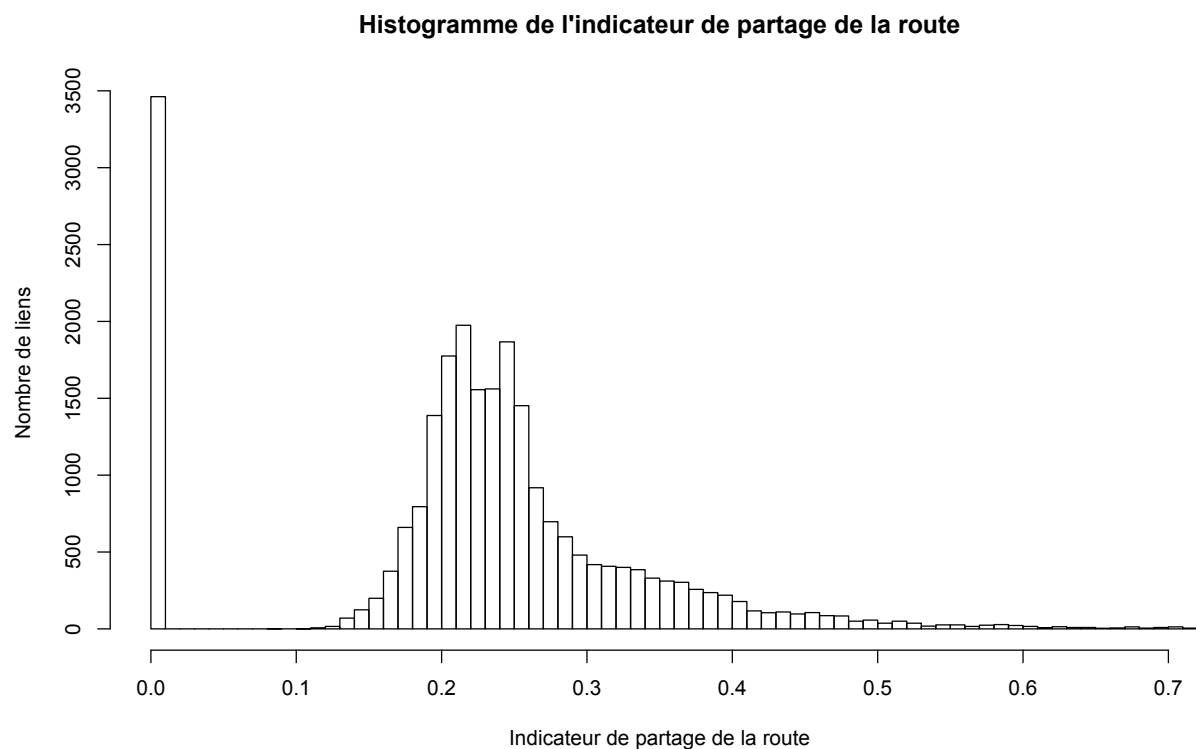


Figure 6-2 Indicateur de partage de la rue

6.2.2 Variations spatiales

L'indicateur est donc le rapport entre la largeur du trottoir sur la largeur de rue. Les variations spatiales de l'indicateur sont données sur la carte en Figure 6-3.

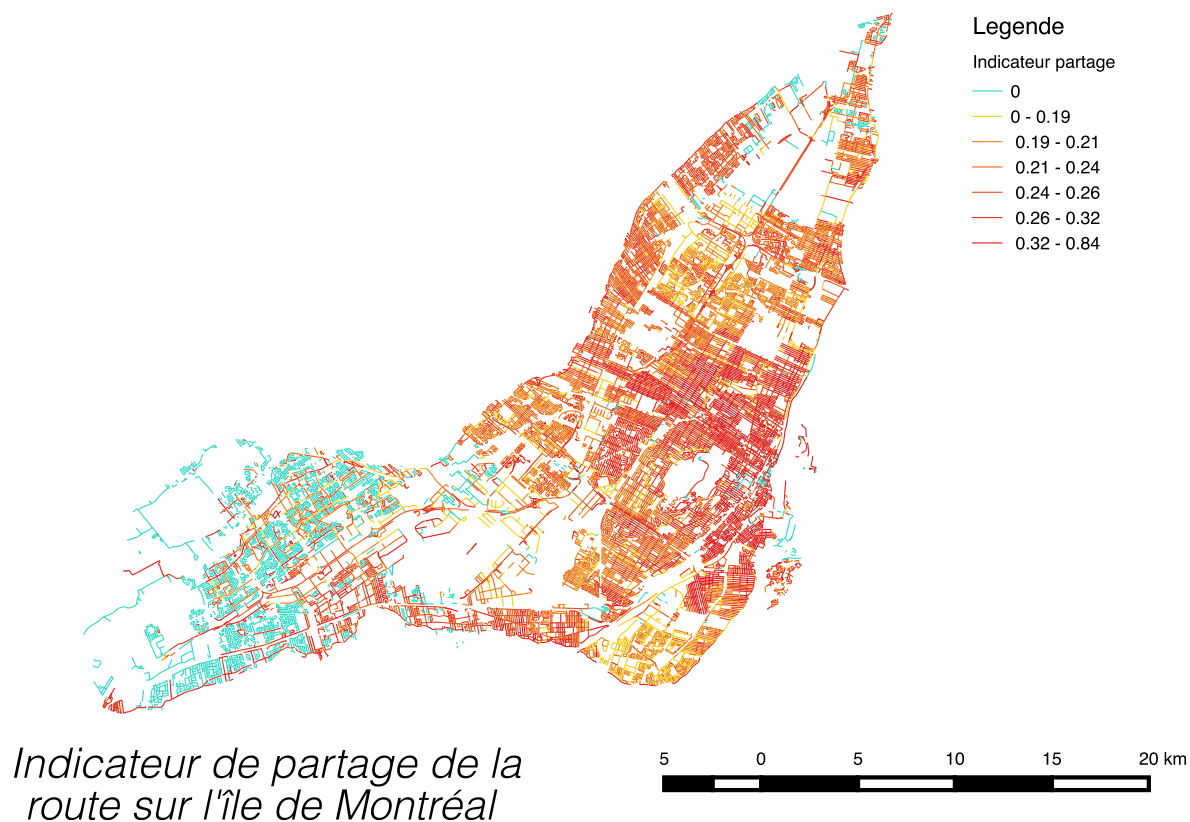


Figure 6-3 Indicateur partage de la route Montréal

Plus l'indicateur est élevé, plus les piétons sont favorisés dans le partage de l'espace de la rue. Sur la Figure 6-3, on observe graphiquement que plus on s'éloigne du centre plus la répartition de l'espace est en faveur de l'automobile. On observe que les principales variations de l'indicateur de partage se font entre quartiers et qu'il est relativement constant dans un même quartier. Cela amène à penser que l'année de construction du quartier joue un rôle dans la valeur de l'indicateur de partage de la rue.

6.2.3 Évolution historique

Dans cette partie, on étudie l'évolution de l'indicateur de partage de la route en fonction du temps. On estime d'abord l'année moyenne du lien routier en faisant la moyenne des années de construction des bâtiments résidentiels sur le lien. Les liens sans bâtiment résidentiel ne sont pas pris en compte dans le reste de la section. La Figure 6-4 montre la carte de l'année moyenne des bâtiments du lien catégorisée en cinq classes de valeurs : 1694-1930 (jaune), 1930-1950 (vert),

1950-1960 (bleu), 1960-1980 (rouge), 1980-2010 (noir). Cette carte montre une corrélation spatiale entre l'indicateur de partage de la rue (Figure 6-3) et l'année moyenne de construction du lien.

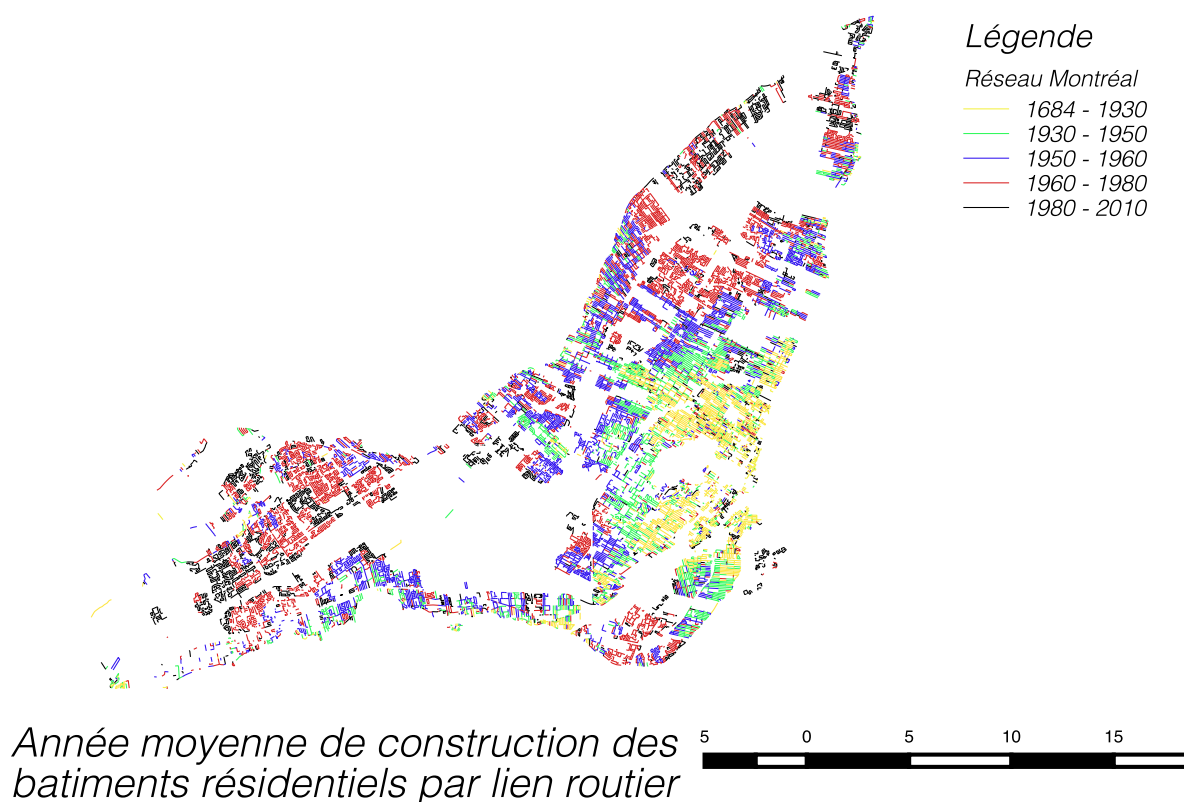


Figure 6-4 Carte de l'année moyenne de construction

6.2.3.1 Évolution historique de la largeur de chaussées

La moyenne des largeurs des chaussées au cours du temps est donnée dans le Tableau 6-3. On observe que la valeur de la largeur des chaussées est assez stable dans le temps, avec une différence de 50 cm entre la moyenne la plus basse (9,73 m entre 1930 et 1949) et la plus élevée (10,28 m entre 1960 et 1979). La largeur des artères semble avoir légèrement diminué entre les périodes 1684-1959 et 1960-2010. Il n'y a ainsi pas de tendance claire entre la largeur des chaussées et l'année de construction.

Tableau 6-3 Largeur moyenne des chaussées au cours du temps

Année moyenne de construction	Nombre de liens	Largeur moyenne des chaussées (m)		
		Artère	Non artère	Total
1684-1929	2570 (100%)	12,85 (8,6%)	9,52 (91,4%)	9,81
1930-1949	2515 (100%)	13,07 (5,0%)	9,56 (95,0%)	9,73
1950-1959	4098 (100%)	13,16 (3,3%)	9,8 (96,7%)	9,91
1960-1979	4892 (100%)	12,04 (2,3%)	10,24 (97,7%)	10,28
1980-2010	3031 (100%)	11,98 (2,5%)	9,88 (97,5%)	9,93

6.2.3.2 Évolution historique de la largeur des trottoirs

Le Tableau 6-4 montre l'évolution de la largeur des trottoirs en fonction de l'année de construction moyenne des bâtiments résidentiels du tronçon de rue. Au cours du temps, la proportion des tronçons de rue sans trottoir augmente pour passer d'environ 4% avant 1930 à 27% dans la période 1980-2010. En même temps la largeur moyenne des trottoirs diminue continuellement. Si l'on ne considère que les rues avec trottoirs, la largeur passe de 2,4 m avant 1930 à environ 1,7 m dans la période 1950-1979. Après 1980 la largeur moyenne augmente légèrement à 1,8 m.

Tableau 6-4 Largeur moyenne des trottoirs au cours du temps

Année moyenne de construction	Nombre de liens	Proportion de liens sans trottoir	Largeur moyenne (m) des trottoirs	
			totale (avec liens sans trottoirs)	liens avec trottoirs
1684-1929	2570	3,8%	2,32	2,42
1930-1949	2515	3,7%	2,04	2,12
1950-1959	4098	6,1%	1,54	1,67
1960-1979	4892	18,5%	1,33	1,67
1980-2010	3031	27,4%	1,24	1,82

L'évolution historique de la distribution de la largeur de trottoir peut être estimée par noyau et représentée pour les différentes catégories d'année de construction. C'est ce qui est présenté en Figure 6-5. Une fonction de densité de probabilité f est une fonction positive qui représente une loi de probabilité. La probabilité que la variable soit contenue entre deux valeurs a et b est donnée par l'aire contenue sous la courbe entre ces deux valeurs, soit $\int_a^b f(x)dx$. L'aire totale sous la courbe est donc 1. Cela permet de comparer les distributions entre elles en normalisant par le nombre différent de rues construites à chaque période. La densité permet ainsi de comparer les proportions de largeurs de trottoirs au cours du temps en évaluant l'aire sous les différentes courbes. Dans notre cas, la proportion de trottoirs contenus entre deux largeurs est donc donnée par l'aire sous la courbe entre ces deux largeurs. La proportion de rues avec absence de trottoirs est donnée par l'aire totale sous la courbe au voisinage de zéro.

Fonctions de densité de probabilité de la largeur des trottoirs au cours du temps

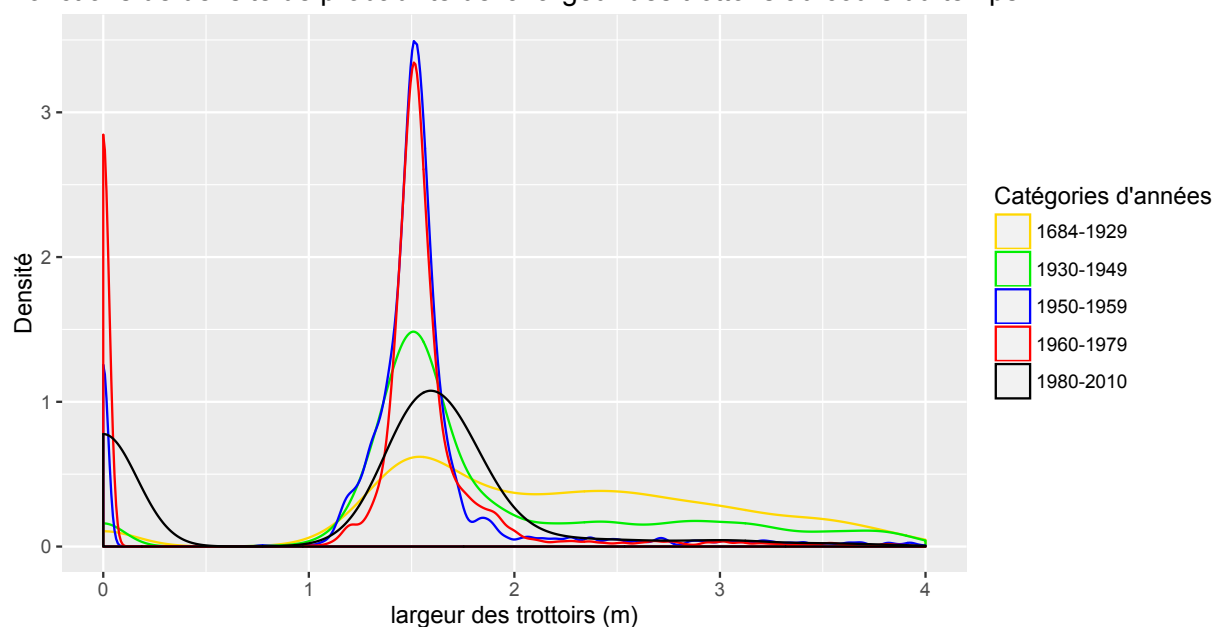


Figure 6-5 Évolution historique de la distribution de la largeur des trottoirs

Avant les années 1930 (courbe jaune), la fonction de densité est étalée avec un léger pic à 1,5m. Pendant cette période, les trottoirs étaient de toutes les largeurs sans concentration de valeurs, avec une forte proportion de trottoirs de plus de 2m et quasiment aucune absence de trottoir.

Entre 1930 et 1950 (courbe verte), la largeur commence à s'uniformiser à 1,5m mais la probabilité de trottoirs supérieurs à 2 m reste élevée. Entre 1950 et 1960 (courbe bleue) et entre 1960 et 1980 (courbe rouge), on observe une concentration extrême de la largeur des trottoirs autour de 1,5m, témoignant probablement d'une standardisation de construction. En effet, la valeur de 1,5m, soit 5 pieds, est la valeur minimale de la largeur des trottoirs retenue dans plusieurs guides d'aménagements urbains. Par exemple, la NACTO (National Association of City Transportation Officials) conseille dans son guide pour l'aménagement des rues urbaines (Urban street design guide) une largeur minimale de 5 pieds des trottoirs car cela correspond à la largeur nécessaire pour permettre le passage de deux piétons. Toujours dans cette période, la proportion des trottoirs supérieurs à 2m est négligeable et le nombre de trottoirs de largeur nulle augmente fortement. Enfin, entre 1980 et 2010, on observe une forte augmentation des liens sans trottoirs (observable par l'augmentation de l'aire totale au voisinage de zéro), une augmentation de la largeur moyenne des trottoirs lorsqu'ils sont présents et une concentration moins élevée autour de la valeur moyenne 1,8m.

6.2.3.3 Évolution historique de l'indicateur de partage de la route

La moyenne de l'indicateur de partage de la rue diminue au cours du temps, comme on le voit dans le Tableau 6-5. On a vu que la largeur moyenne des chaussées reste relativement stable dans le temps, c'est donc surtout la diminution de la largeur des trottoirs qui fait diminuer l'indicateur de partage, celui-ci étant proportionnel à la largeur du trottoir. Ainsi, plus on avance dans le temps plus la répartition de l'espace se fait en faveur des véhicules motorisés, sauf à partir de 1960 où la moyenne de l'indicateur est constante à 19% d'espace accordé aux piétons.

Tableau 6-5 Indicateur de partage de la rue au cours du temps

Année moyenne de construction	Nombre de liens	Moyenne de l'indicateur de partage de la rue
1684-1929	2570	0.31
1930-1949	2515	0.28
1950-1959	4098	0.23
1960-1979	4892	0.19
1980-2010	3031	0.19

La Figure 6-6 montre la distribution estimée par noyau de l'indicateur de la rue pour les cinq catégories d'années du tronçon de rue. Avant 1930 (courbe jaune), la répartition se fait à peu près uniformément entre 20% et 40% de proportion d'espace pour les piétons. Entre 1930 et 1950 (courbe verte), l'indicateur se concentre vers la moyenne 0,28, soit 28% d'espace accordé aux piétons, avec une proportion importante de rues supérieures à 0,3. Entre 1950 et 1960 (courbe bleue), l'indicateur se répartit en deux principaux pics (21% et 25% d'espace aux piétons), ce qui est probablement dû à la standardisation de la conception des rues. La proportion de rues sans espace pour les piétons augmente considérablement. Le nombre de rues au-delà de 30% est très faible. Entre 1960 et 1980 (courbe rouge) on observe encore la présence des deux pics, mais celui à 21% est plus élevé que celui à 25%, on favorise ainsi les rues avec moins d'espace relatif pour les piétons. La proportion de rues sans trottoir augmente également. Enfin, entre 1980 et 2010 la proportion de rues sans espace pour les piétons augmente encore (l'aire totale au voisinage de 0 augmente) et on retrouve le pic à 24% présent entre 1930 et 1950. La proportion de rues supérieures à 30% augmente légèrement par rapport aux deux périodes précédentes mais reste faible par rapport aux périodes avant 1950.

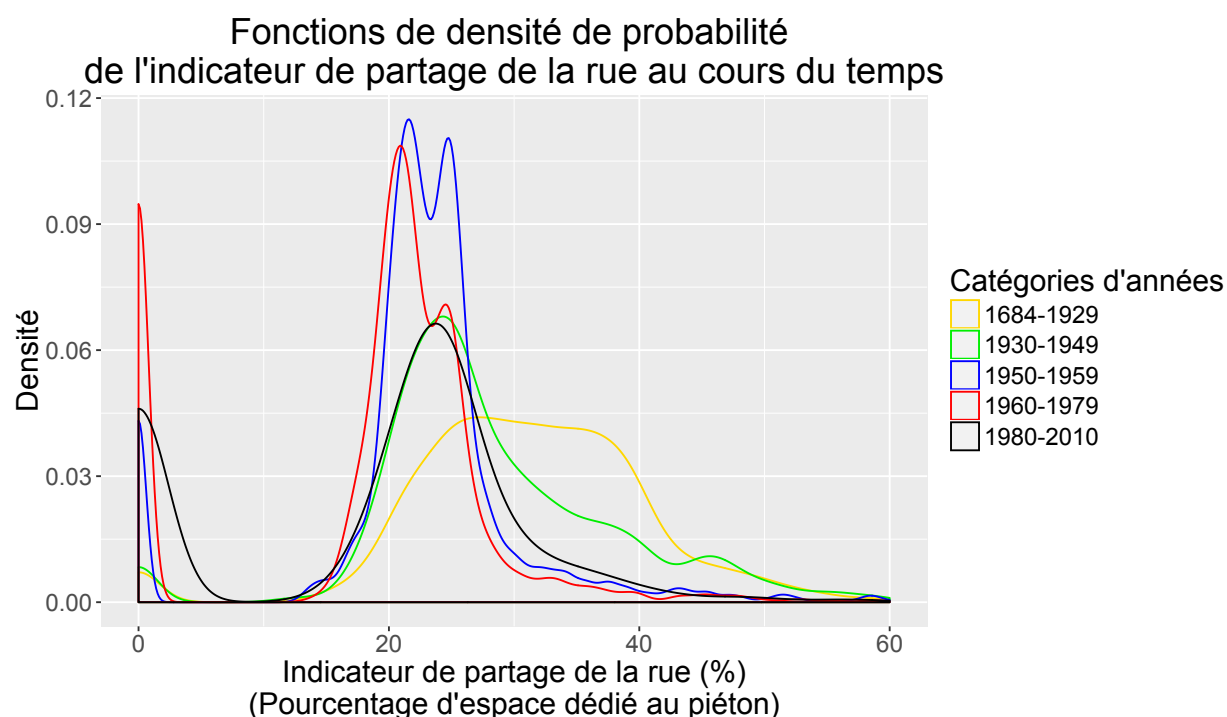


Figure 6-6 Évolution historique de la distribution de l'indicateur de partage de la rue

6.2.4 Amélioration

L'indicateur par rue prend en compte la chaussée et le trottoir et ne décrit donc que la répartition de l'espace entre les piétons et les véhicules motorisés. Or, le partage de l'espace routier urbain se fait aussi avec d'autres modes de transport. Ainsi, d'autres éléments sont à prendre en compte pour quantifier l'emprise spatiale des autres modes de transport : la présence de pistes cyclables, de voies réservées de transport en commun et la présence de stationnements automobiles. Or, ces données sont accessibles à Montréal. Les pistes cyclables dans la ville de Montréal sont recensées dans un fichier disponible sur le portail des données ouvertes de la ville de Montréal. La présence de stationnement peut être déterminée grâce à la présence de panneaux de stationnement sur le bord de la rue dont la base de données est aussi disponible sur le portail des données ouvertes de la ville de Montréal (Bourdeau, 2014). Les voies réservées d'autobus sont librement fournies par la Société de Transport de Montréal (STM). Pour chaque tronçon de rue on peut ainsi calculer un vecteur à cinq coordonnées, comme on a fait pour l'exemple de la rue Villeneuve. Celui-ci contient la proportion d'espace réservé attribué à chaque mode par rapport à l'espace total de la rue. Cela reste une vision simplifiée car l'attribution de l'espace d'une rue a des variations quotidienne (ex : stationnement, voies de bus réservées que pour les heures de pointe) ou encore saisonnière (ex : pistes cyclables supprimées en hiver).

$$partage\ rue_i = \begin{pmatrix} Proportion\ de\ l'emprise\ du\ trottoir \\ Proportion\ de\ l'emprise\ de\ la\ piste\ cyclable \\ Proportion\ de\ l'emprise\ de\ la\ voie\ réervée\ transport\ en\ commun \\ Proportion\ de\ l'emprise\ du\ stationnement \\ Proportion\ de\ l'emprise\ de\ la\ circulation\ automobile \end{pmatrix}$$

On peut ensuite visualiser la valeur de l'indicateur pour chaque mode de transport ou bien appliquer des méthodes de réduction de la dimension, comme l'analyse en composante principale, pour visualiser l'ensemble des données. On peut aussi appliquer des méthodes de regroupement pour créer des catégories de liens en fonction de la répartition de chaque mode de transport.

Cet indicateur n'est pas traité dans ce mémoire mais il pourra faire l'objet de recherches ultérieures.

6.3 Partage de la route et flux de piétons, de véhicules

On considère les flux moyens de piétons et de voitures en fonction de la largeur des chaussées et des trottoirs. L'analyse des corrélations est présentée au paragraphe 6.3.4 On a vu sur les cartes de largeur de chaussée et de trottoir que des tendances existaient entre zones. Afin de quantifier les tendances, on va créer des catégories de largeur de chaussée et de trottoir. Le nombre de ces catégories ne doit pas être trop élevé en raison de l'incertitude des débits sur les liens. En effet, ceux-ci sont un portrait général des débits sur le réseau. Le nombre de cinq catégories a été retenu pour les trottoirs et l'indicateur de partage, et six pour la largeur des chaussées.

6.3.1 Largeur des trottoirs

On découpe la distribution de la largeur des trottoirs en cinq quantiles afin d'évaluer le lien avec les flux piétons et voitures. On crée cinq catégories de largeur de trottoir, données en Figure 6-7

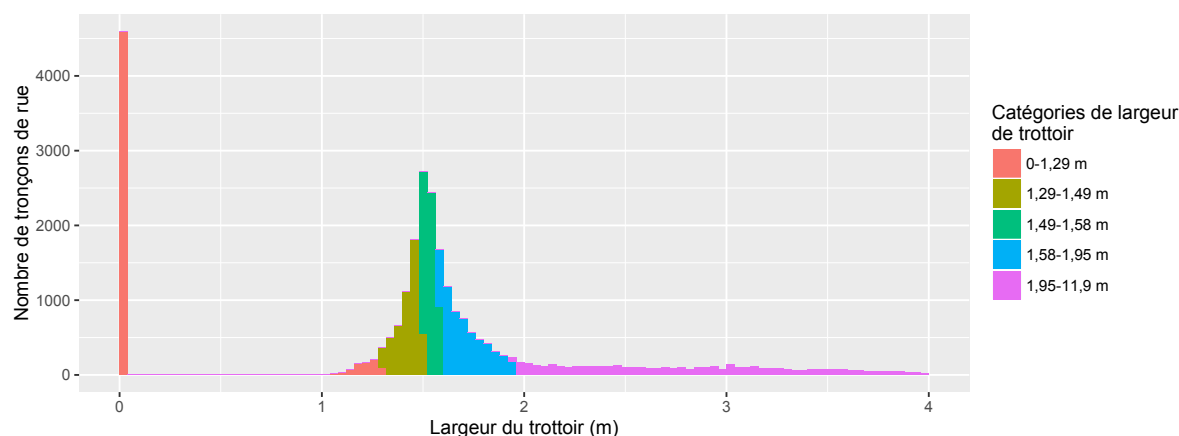


Figure 6-7 Catégories de largeur de trottoir (histogramme tronqué à 4m)

La moyenne des flux piétons par classe est donnée dans le Tableau 6-6. On observe que les flux piétons et la largeur des trottoirs sont étroitement associés, le premier augmentant avec l'autre. Les liens routiers avec une largeur moyenne des trottoirs plus élevée présentent aussi des débits quotidiens de véhicules plus élevés.

Tableau 6-6 Moyenne des flux piétons et voitures quotidiens par classe de largeur des trottoirs

Classes de largeur de trottoir (m)	Nombre de liens	Moyenne des flux piétons (piétons/jour)	Moyenne des flux voitures (voitures/jour)
0 – 1,29	5 347	52	896
1,29 – 1,49	4 923	97	1 118
1,49 – 1,58	5 515	111	957
1,58 – 1,95	5 762	153	1 664
1,95 – 11,9	5 419	345	3 222

6.3.2 Largeur des chaussées

La distribution de la largeur des chaussées n'étant pas normale, les catégories de largeur de rue ont été délimitées à l'aide d'un algorithme des k-moyennes. Cet algorithme est l'un des plus usuels pour effectuer des regroupements, il crée des groupes de façon à minimiser la distance entre les centres de chaque groupe et les valeurs. L'histogramme du nombre de liens en fonction des largeurs des chaussées regroupées en six catégories est en Figure 6-8.

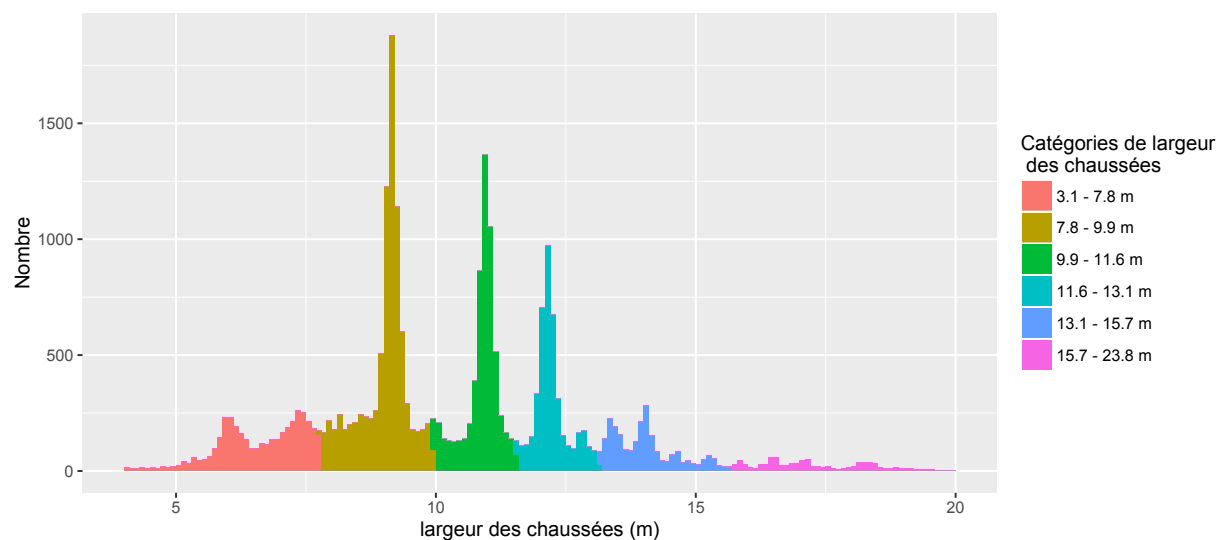


Figure 6-8 Catégories des liens en fonction de la largeur des chaussées

Le Tableau 6-7 détaille la moyenne des flux piétons et des flux voitures selon la largeur de la chaussée. Les flux de véhicules et de piétons sont positivement corrélés à la largeur des chaussées. Ainsi, il y a plus de piétons et de voitures sur les routes à chaussée large.

Tableau 6-7 Moyenne des flux voitures et piétons en fonction de la largeur des chaussées

Classes de largeur de chaussée (m)	Nombre de liens	Moyenne des flux piétons (piétons/jour)	Moyenne des flux voitures (voitures/jour)
3,1 - 7,8	4 034	63	826
7,8 - 9,9	8 849	94	642
9,9 - 11,6	6 031	157	1 023
11,6 - 13,1	4 355	199	1 313
13,1 - 15,7	2 424	313	3 615
15,7 - 23,8	927	527	12 540

6.3.3 Indicateur du partage de la rue

L'indicateur de partage de la rue est divisé en cinq quantiles, dont l'histogramme est donné en Figure 6-9.

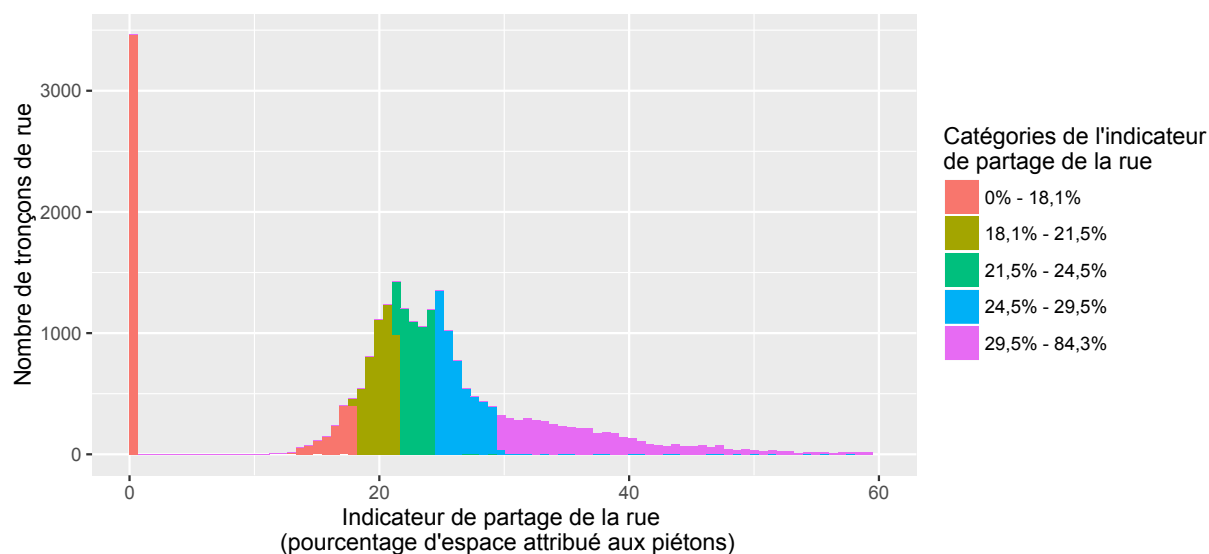


Figure 6-9 Catégories de l'indicateur de partage de la rue (histogramme tronqué à 60%)

Le Tableau 6-8 présente les moyennes des flux piétons et voitures pour les liens selon l'indicateur de partage de la rue. On observe une tendance positive entre l'indicateur de partage

de la rue et les débits quotidiens piétons. Les piétons sont donc plus nombreux sur les liens dont la répartition de l'espace les favorise. Cela est notamment vrai pour les classes extrêmes de l'indicateur, avec une forte différence avec les trois classes centrales.

Pour les flux voitures, il n'y a pas de tendance. Les conducteurs d'automobile ne semblent pas affectés par une répartition de l'espace qui leur est favorable ou non. On peut supposer qu'ils sont plus sensibles à l'espace absolu qui leur est accordé (largeur de chaussée) plutôt qu'à l'espace relatif, étant donné que ce sont les usagers les moins vulnérables du réseau routier. D'autres facteurs explicatifs peuvent être associés à l'indicateur.

Tableau 6-8 Moyenne des flux de piétons et de voitures en fonction de l'indicateur de partage de la rue

Classes de l'indicateur de partage de la rue	Nombre de liens	Moyenne des flux piétons (piétons/jour)	Moyenne des flux voitures (voitures/jour)
0% - 18,1%	4 915	100	1 663
18,1% – 21,5%	4 756	139	1 430
21,5% - 24,5%	4 987	130	1 073
24,5% - 29,5%	5 039	151	1 596
29,5% - 84,3%	4 953	273	2 022

Les flux piétons sont ainsi plus élevés sur les rues dont les trottoirs sont larges, mais aussi sur les rues dont la chaussée est plus large. On peut supposer que ce dernier point est lié à la présence de commerces et d'arrêts de transport en commun sur les rues à chaussée large. De plus, les piétons sont plus nombreux dans les rues où la répartition de l'espace leur est favorable.

6.3.4 Corrélations

La matrice de corrélation est donnée dans le Tableau 6-9. D'abord, on observe que la largeur de la chaussée et celle du trottoir sont positivement corrélées (0,21). L'indicateur de partage est très corrélé à la largeur du trottoir (0,90) et n'est pas corrélé à la largeur de la chaussée (-0,03). On observe aussi que les flux piétons sont positivement corrélés à la largeur du trottoir (0,26) et à la largeur de la chaussée (0,29) ainsi qu'à l'indicateur de partage (0,17).

Les flux voitures sont corrélés à la largeur de la chaussée (0,32) et plus faiblement à la largeur du trottoir (0,15) et pas du tout à l'indicateur de partage de la rue (0,04). On peut supposer que la corrélation entre largeur de trottoir et flux voitures est liée à la corrélation entre largeur de trottoir et largeur de chaussée. L'indicateur de partage de la rue pourrait ainsi être une meilleure mesure de l'espace accordé au piéton que la largeur du trottoir. En effet, la largeur du trottoir est corrélée à la largeur de la chaussée et au flux des voitures, alors que l'indicateur de partage ne l'est pas. Il est uniquement corrélé au flux des piétons et à la largeur du trottoir.

Tableau 6-9 Matrice des coefficients de corrélation de Pearson

	Largeur trottoir	Largeur chaussée	Indicateur partage	Flux piétons	Flux voitures
Largeur trottoir	1	0,21	0,90	0,26	0,15
Largeur chaussée	0,21	1	-0,03	0,29	0,32
Indicateur partage	0,90	-0,03	1	0,17	0,04
Flux piétons	0,26	0,29	0,17	1	0,38
Flux voitures	0,15	0,32	0,04	0,38	1

CHAPITRE 7 CONCLUSION ET RECOMMANDATION

7.1 Principaux résultats

Au niveau des tronçons de rue, l'association entre la largeur de la chaussée et les flux d'usagers est significative sur le nombre de blessures des occupants des véhicules motorisés, des cyclistes et des piétons. Au niveau des carrefours, les flux d'usagers, la largeur maximale et la longueur maximale des approches du carrefour, le nombre d'approches et la présence d'une artère présentent une association significative avec le nombre de victimes. Cependant, les modèles utilisés montrent des limites, notamment pour la non normalité des résidus et des erreurs importantes pour les flux d'usagers élevés.

Un indicateur de partage de la rue a été développé. L'évolution spatiale et historique de la répartition de l'espace entre les piétons et les véhicules à moteur a été explorée et montre une corrélation négative entre l'année moyenne du lien routier et la proportion d'espace alloué aux piétons. L'indicateur de partage de la rue est fortement associé au flux de piétons, avec davantage de piétons sur les routes ayant des trottoirs larges et un meilleur partage de l'espace de la rue en faveur des piétons. Cependant, les flux de piétons sont les plus élevés sur les routes larges à débit de véhicules élevés.

Le lien entre partage de la rue et victimes routières n'a pas été traité dans ce rapport mais il pourra faire l'objet de recherches ultérieures.

7.2 Limites

La principale nouveauté de l'étude est le développement de méthodes d'analyse systématiques des victimes et du partage de la rue sur l'ensemble de l'île de Montréal. Cela généralise les études de P. Morency et al. (2015); Strauss et al. (2013b) dont l'étude des victimes piétonnes et cyclistes portait sur un nombre restreint de carrefours sur l'île de Montréal. Cependant, de nombreux tronçons de rue ont été retirés de l'étude des victimes. Les tronçons de rue avec les caractéristiques suivantes ont été retirés :

- Longueur de moins de 40m
- Présence d'un terre-plein central
- Croisement avec une autoroute
- Largeur de chaussée non calculée
- Liens autoroutiers

L'analyse finale se fait sur 26 620 tronçons de rue, soit 83,2% du total des tronçons de l'île de Montréal

Les carrefours suivant ont été retirés de l'étude des victimes :

- Croisement avec une autoroute
- Largeur de chaussée non calculée d'au moins une approche

L'analyse finale se fait sur 12 508 carrefours, soit 72,8% des carrefours de l'île de Montréal.

De plus, certaines catégories de blessés sont peu présentes sur le réseau. Ainsi, le nombre de tronçons de rue avec blessés majeurs cyclistes est de 37, soit 0,1% du total.

L'effet de ces retraits n'a pas été étudié et peut potentiellement générer des biais dans l'étude. Des améliorations dans la mesure de la largeur des chaussées et un traitement spécifique des tronçons avec terre-plein sont possibles et pourront faire l'objet de recherches ultérieures.

L'indicateur de partage de la rue est aussi un apport nouveau et pourra servir d'outil dans des études futures pour quantifier la répartition de l'espace urbain et son évolution temporelle entre les différents modes de transport. Comme pour l'étude des victimes, l'indicateur de partage de la rue n'a pas été estimé sur tous les tronçons de rue de l'île de Montréal. Seuls ceux dont les largeurs du trottoir et de la chaussée ont été calculées sont pris en compte, ce qui revient à 24 651 tronçons, soit 77,1% du total de l'île de Montréal. L'effet de ce retrait n'a pas été analysé. De plus la précision sur les largeurs de chaussée et de trottoir n'a pas été estimée, même si la comparaison avec des largeurs de chaussée mesurées sur le terrain est assez bonne (la médiane de la valeur absolue de la différence entre les largeurs mesurées par la méthode proposée et la méthode manuelle est de 22 cm).

L'affectation des flux a aussi pris en compte l'ensemble des déplacements de l'enquête OD qui représente la mobilité pour un jour moyen d'octobre 2008. Les attributions ont été effectuées en prenant en compte des pénalités aux carrefours et des pénalités de virage. Cependant, elles ne prennent pas en compte la capacité du réseau et la congestion. La détermination de l'offre nécessiterait des mesures plus détaillées comme le nombre de voies, l'emplacement des carrefours à feux, le phasage de ces carrefours et une mesure de la congestion. La vitesse moyenne des véhicules sur les liens n'a pas non plus été déterminée. De plus l'enquête OD est représentative d'un jour de semaine moyen d'automne. Or l'utilisation des modes de transport dépend de la saison et du jour de la semaine, l'affectation calculée ne prend pas en compte cette variabilité.

7.3 Perspectives de recherche

Les réseaux de liens et de carrefours créés pour l'étude sont modulables et pourront être utilisés pour des études futures. Des attributs pourront être ajoutés pour effectuer d'autres études (présence de stationnement, de stations Bixi, de carrefours à feu, de feux piéton, etc...). Le réseau de carrefours est déjà utilisé pour étudier l'effet des mesures d'apaisement de la circulation dans plusieurs quartiers à Montréal. Les modèles de victimes pourront aussi être affinés en prenant en compte d'autres facteurs explicatifs ou d'autres populations. Les risques des usagers du transport en commun n'ont pas pu être estimés en raison de la difficulté à affecter ces déplacements sur le réseau. De plus, on ne sait pas si un piéton blessé effectuait un déplacement en transport en commun. Cela pourra faire l'objet d'analyses ultérieures.

Ces attributs supplémentaires pourront améliorer l'indicateur de partage de la route pour prendre en compte la répartition globale de l'espace de la rue (stationnement, pistes cyclables, voies de bus réservés, végétation...). Les futurs indicateurs pourront aussi prendre en compte le partage du temps (phasage des carrefours à feu) qui est complètement exclu de l'indicateur actuel.

7.4 Recommandation

Nous avons ainsi montré l'association de facteurs avec les victimes de la route. La puissance de l'analyse repose sur la prise en compte de l'ensemble des carrefours et de liens d'un territoire entier, l'île de Montréal en l'occurrence. La méthode pourra être reproduite dans d'autres villes ou pour d'autres territoires si les données accessibles le permettent.

L'indicateur de partage de la route pourra aussi être calculé pour d'autres villes. Il pourra être utile à la planification urbaine pour quantifier l'impact de mesures pour favoriser certains modes de transport, comme la marche à pied ou le vélo. La largeur de la chaussée étant positivement corrélée au nombre de blessés automobiles, cyclistes et piétons, la réduction de cette largeur rendrait potentiellement le réseau routier plus sécuritaire, mais cela devra être étudié plus en détail. Cela pourrait valider les mesures d'apaisement de la circulation mises en place dans certains arrondissements à Montréal depuis plusieurs années. L'attribution de plus d'espace aux piétons pourrait favoriser ce mode de transport, dans le cadre d'une politique globale de transport. De futures études pourraient valider cette hypothèse en utilisant un indicateur de partage de la rue comme métrique de l'espace attribué aux piétons.

BIBLIOGRAPHIE

- Al-Ghamdi, A. S. (2002). Using logistic regression to estimate the influence of accident factors on accident severity. *Accident Analysis & Prevention*, 34(6), 729-741.
- Bilan routier 2014. (2014). Retrieved from Québec, QC: http://www.saaq.gouv.qc.ca/publications/prevention/bilan_routier_2014/bilan_routier.pdf
- Bourdeau, J.-S. (2014). *Méthodologie d'analyse automatisée des stationnements*. (Mémoire de maîtrise), École Polytechnique de Montréal. Retrieved from <http://publications.polymtl.ca/1529/>
- Cafiso, S., Di Graziano, A., Di Silvestro, G., La Cava, G., & Persaud, B. (2010). Development of comprehensive accident models for two-lane rural highways using exposure, geometry, consistency and context variables. *Accident Analysis & Prevention*, 42(4), 1072-1079.
- Carson, J., & Mannering, F. (2001). The effect of ice warning signs on ice-accident frequencies and severities. *Accident Analysis & Prevention*, 33(1), 99-109.
- Chang, L.-Y. (2005). Analysis of freeway accident frequencies: negative binomial regression versus artificial neural network. *Safety science*, 43(8), 541-557.
- Charte du piéton. (2006). Retrieved from
- Currie, G., Sarvi, M., & Young, W. (2004). A new methodology for allocating road space for public transport priority. *Publication of: WIT Press*.
- Dumbaugh, E., & Rae, R. (2009). Safe urban form: revisiting the relationship between community design and traffic safety. *Journal of the American Planning Association*, 75(3), 309-329.
- Enquêtes Origine-Destination 2008, Faits saillants. (2009). Retrieved from Montréal, QC: <https://www.amt.qc.ca/Media/Default/pdf/section8/resume-des-faits-saillants-de-l-enquete.pdf>
- Ewing, R., & Dumbaugh, E. (2009). The built environment and traffic safety a review of empirical evidence. *Journal of Planning Literature*, 23(4), 347-367.
- Frumkin, H. (2002). Urban sprawl and public health. *Public health reports*, 117(3), 201.
- Gonzales, E. J., Geroliminis, N., Cassidy, M. J., & Daganzo, C. F. (2010). On the allocation of city space to multiple transport modes. *Transportation planning and technology*, 33(8), 643-656.
- Grundy, C., Steinbach, R., Edwards, P., Green, J., Armstrong, B., & Wilkinson, P. (2009). Effect of 20 mph traffic speed zones on road injuries in London, 1986-2006: controlled interrupted time series analysis. *Bmj*, 339, b4469.
- Guler, S. I., & Cassidy, M. J. (2012). Strategies for sharing bottleneck capacity among buses and cars. *Transportation research part B: methodological*, 46(10), 1334-1345.
- Hakkert, A., Livneh, M., & Mahalel, D. (1976). *Levels of safety in accident studies-a safety index*. Paper presented at the Australian Road Research Board Conference Proc.

- Hakkert, A. S., Braimaister, L., & Van Schagen, I. (2002). *The uses of exposure and risk in road safety studies*. Retrieved from
- Hauer, E. (1996). Identification of sites with promise. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*(1542), 54-60.
- Jensen, S. U. (2008). *Bicycle tracks and lanes: A before-after study*. Paper presented at the 87th Annual Meeting of the Transportation Research Board. Transportation Research Board, Washington, DC.
- Kaparias, I., Bell, M. G., Miri, A., Chan, C., & Mount, B. (2012). Analysing the perceptions of pedestrians and drivers to shared space. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 15(3), 297-310.
- Karlaftis, M. G., & Golias, I. (2002). Effects of road geometry and traffic volumes on rural roadway accident rates. *Accident Analysis & Prevention*, 34(3), 357-365.
- Karndacharuk, A., Wilson, D., & Dunn, R. (2013). Analysis of pedestrian performance in shared-space environments. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*(2393), 1-11.
- Karndacharuk, A., Wilson, D., & Dunn, R. (2014). Safety Performance Study of Shared Pedestrian and Vehicle Space in New Zealand. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*(2464), 1-10.
- Karndacharuk, A., Wilson, D. J., & Dunn, R. (2014). A review of the evolution of shared (street) space concepts in urban environments. *Transport reviews*, 34(2), 190-220.
- Kim, T. Y., Kim, K. H., & Park, B. H. (2011). Accident models of trumpet interchange S-type ramps using by Poisson, negative binomial regression and ZAM. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 15(3), 545-551.
- LaScala, E. A., Gruenewald, P. J., & Johnson, F. W. (2004). An ecological study of the locations of schools and child pedestrian injury collisions. *Accident Analysis & Prevention*, 36(4), 569-576.
- Lusk, A. C., Furth, P. G., Morency, P., Miranda-Moreno, L. F., Willett, W. C., & Dennerlein, J. T. (2011). Risk of injury for bicycling on cycle tracks versus in the street. *Injury prevention*, 17(2), 131-135.
- Lyon, C., & Persaud, B. (2002). Pedestrian collision prediction models for urban intersections. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*(1818), 102-107.
- Miaou, S.-P. (1994). The relationship between truck accidents and geometric design of road sections: Poisson versus negative binomial regressions. *Accident Analysis & Prevention*, 26(4), 471-482.
- Miaou, S.-P., & Lum, H. (1993). Modeling vehicle accidents and highway geometric design relationships. *Accident Analysis & Prevention*, 25(6), 689-709.
- Milton, J., & Mannering, F. (1998). The relationship among highway geometrics, traffic-related elements and motor-vehicle accident frequencies. *Transportation*, 25(4), 395-413.

- Milton, J. C., Shankar, V. N., & Mannering, F. L. (2008). Highway accident severities and the mixed logit model: an exploratory empirical analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 40(1), 260-266.
- Mohamed, M. G., Saunier, N., Miranda-Moreno, L. F., & Ukkusuri, S. V. (2013). A clustering regression approach: A comprehensive injury severity analysis of pedestrian–vehicle crashes in New York, US and Montreal, Canada. *Safety science*, 54, 27-37.
- Morency, C., & Verreault, H. (2014). *Mesurer le partage de la voie*. Paper presented at the Congrès annuel AQTR, Montréal, QC.
- Morency, P., Archambault, J., Cloutier, M.-S., Tremblay, M., & Plante, C. (2015). Major urban road characteristics and injured pedestrians : A representative survey of intersections in Montréal, Québec. *Canadian Journal of Public Health*, 106(6), e1-e7.
- Plan de déplacement urbain du Plateau-Mont-Royal*. (2009). Retrieved from
- Pucher, J., & Buehler, R. (2008). Making cycling irresistible: lessons from the Netherlands, Denmark and Germany. *Transport reviews*, 28(4), 495-528.
- Shankar, V., Mannering, F., & Barfield, W. (1995). Effect of roadway geometrics and environmental factors on rural freeway accident frequencies. *Accident Analysis & Prevention*, 27(3), 371-389.
- Strauss, J., Miranda-Moreno, L. F., & Morency, P. (2013a). *Bayesian Modeling Approach for Cyclist Injury Risk: Comparison of Signalized and Non-Signalized Intersections*. Paper presented at the 23rd Canadian Multidisciplinary Road Safety Conference, Montreal, Quebec.
- Strauss, J., Miranda-Moreno, L. F., & Morency, P. (2013b). Cyclist activity and injury risk analysis at signalized intersections: A Bayesian modelling approach. *Accident Analysis & Prevention*, 59, 9-17.
- Thomas, B., & DeRobertis, M. (2013). The safety of urban cycle tracks: A review of the literature. *Accident Analysis & Prevention*, 52, 219-227.
- Yau, K. K., Lo, H., & Fung, S. H. (2006). Multiple-vehicle traffic accidents in Hong Kong. *Accident Analysis & Prevention*, 38(6), 1157-1161.
- Zahabi, S., Strauss, J., Manaugh, K., & Miranda-Moreno, L. (2011). Estimating potential effect of speed limits, built environment, and other factors on severity of pedestrian and cyclist injuries in crashes. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*(2247), 81-90.
- Zong, F., Xu, H., & Zhang, H. (2013). Prediction for traffic accident severity: comparing the Bayesian network and regression models. *Mathematical Problems in Engineering*, 2013.